

VŠB – Technická univerzita Ostrava

Fakulta elektrotechniky a informatiky

Katedra elektroenergetiky

Průzkum trhu - fotovoltaické a solární systémy
Market Research - Photovoltaic and Solar Systems

Zadání bakalářské práce

Student:

Martin Gruss

Studijní program:

B2649 Elektrotechnika

Studijní obor:

3907R001 Elektroenergetika

Téma:

Průzkum trhu - fotovoltaické a solární systémy
Market Research - Photovoltaic and Solar Systems

Zásady pro vypracování:

1. Specifikace využití fotovoltaických a solárních systémů v podmínkách ČR
2. Návrh energetické koncepce pro napájení elektrickou a tepelnou energií rodinného domu s využitím solární a fotovoltaické elektrárny
3. Průzkum trhu dostupných technologií solárních a fotovoltaických elektráren
4. Závěrečné zhodnocení

Seznam doporučené odborné literatury:

- [1] Karel Murtinger, Jiří Beranovský, Milan Tomeš: Fotovoltaika - elektřina ze slunce,
- [2] Tomáš Matuška: Solární soustavy pro bytové domy,
- [3] Karel Murtinger, Jan Truxxa: Solární energie pro váš dům, 1. vydání,
- [4] Armin Themessel, Werner Weiss: Solární systémy - návrh a stavba svépomocí,

Formální náležitosti a rozsah bakalářské práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí bakalářské práce: **doc. Ing. Stanislav Mišák, Ph.D.**

Datum zadání: 30.11.2011

Datum odevzdání: 04.05.2012

prof. Ing. Stanislav Rusek, CSc.
vedoucí katedry



prof. RNDr. Václav Snášel, CSc.
děkan fakulty

Prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci vypracoval samostatně. Uvedl jsem všechny literární prameny a publikace, ze kterých jsem čerpal.

V Ostravě 4. května 2012


.....
Martin Gruss

Poděkování

Rád bych poděkoval panu doc. Ing. Stanislavovi Mišákovi, Ph.D. za podporu a cenné rady při vedení mé bakalářské práce.

Abstrakt

Cílem bakalářské práce je průzkum trhu fotovoltaických a solárních systému dostupných v České republice a jejich aplikace na rodinný dům. V první kapitole jsou popsány možnosti využívání solární energie, faktory ovlivňující solární záření a podmínky pro využití fotovoltaických a solárních systémů na území České republiky. Také je zde popsán princip fotovoltaického jevu, rozdělení fotovoltaických panelů podle technologie a rozdělení fotovoltaických systémů podle aplikace. Další kapitola obsahuje návrh fotovoltaické a solární elektrárny v autonomním provozu k napájení elektrické energie a tepelné energie pro ohřev teplé užitkové vody zvolené lokality rodinného domu v České republice. Další část bakalářské práce tvoří průzkum trhu, přehled činností a nabídky jednotlivých společností, které se zabývají distribucí fotovoltaických a solárních systémů v České republice. V poslední části je provedeno závěrečné zhodnocení, které je zaměřeno na instalaci zvolené fotovoltaické a solární elektrárny a jejich finanční návratnost investic.

Klíčová slova

Průzkum trhu, sluneční energie, fotovoltaické systémy, solární systémy, intenzita slunečního záření, návrh systému, legislativa

Abstract

The objective of the bachelor thesis is a market research of photovoltaic and solar systems available in the Czech Republic and their application in a family house. In the first chapter, possibilities of the use of solar energy and factors influencing solar radiation and conditions for the use of photovoltaic and solar systems in the area of the Czech Republic are described. Also a principle of the photovoltaic effect, a distribution of photovoltaic panels according to technology and a distribution of photovoltaic systems due to application are described here. The subsequent chapter includes a design of a photovoltaic and a solar power stations in autonomous operation for powering electric energy and thermal energy for a heating water for a selected location of a family house in the Czech Republic. The next part of the bachelor thesis comprises the market research and then an overview of activities and offers of individual companies which occupy with distribution of photovoltaic and solar systems in the Czech Republic. In the last part, final evaluation is carried out and is focused on the installation of selected photovoltaic and solar power plants and their financial return on investment.

Key Words

A market research, solar energy, photovoltaic systems, solar systems, intensity of solar radiation, a design of system, legislation

Seznam použitých symbolů a zkratek

Zkratka	Popis	Jednotka
a.s.	akciová společnost	-
AC	Alternating current – střídavý proud	-
aj.	a jiné	-
apod.	a podobně	-
CIS	Copper Indium Selenide – měď indium selenid	-
ČR	Česká republika	-
ČSN	Česká technická norma	-
ČVUT	České vysoké učení technické v Praze	-
D/G	Podíl difúzního záření na globální záření	(-)
DC	Direct current – stejnosměrný proud	-
DPH	Daň z přidané hodnoty	-
E_D	Průměrná denní výroba elektrické energie FV modulu	(kW·h)
E_M	Průměrná měsíční výroba elektrické energie FV modulu	(kW·h)
H_D	Průměrná denní suma globální záření FV modulu	(kW·h·m ⁻²)
H_M	Průměrný úhrn globálního záření FV modulu	(kW·h·m ⁻²)
EN	Evropská norma	-
FV	Fotovoltaické	-
GaSb	Antimonid gallitý	-
$H_{(40)}$	Ozáření roviny pod úhlem 40°	(W·h·m ⁻² ·den ⁻¹)
H_H	Ozáření na horizontální rovině	(W·h·m ⁻² ·den ⁻¹)
Hi-fi	Elektroakustické zařízení s velmi kvalitní reprodukcí	-
H_{OPT}	Ozáření na optimálně nakloněné rovině	(W·h·m ⁻² ·den ⁻¹)
InP	Fosfid india	-
I_{OPT}	Optimální sklon	(°)
ISO	Mezinárodní organizace pro normalizaci	-
JV	Jihovýchod – světová strana	-
LCD	Liquid Crystal Displays – displeje z tekutých krystalů	-
LED	Light Emitting Diode - dioda emitující světlo	-
m n.m.	Metrů nad mořem	-
MU	Masarykova univerzita v Brně	-
např.	například	-
s.r.o.	Společnost s ručením omezeným	-
Sb.	Sbírka zákonů	-
T_D	Průměrná denní teplota	(°C)
tj	to jest	-
tzv.	takzvaně	-
USA	United states of America – Spojené státy americké	-
UV	ultrafialové záření	-
V	Východ – světová strana	-
VUT	Vysoké učení technické v Brně	-
Z	Západ – světová strana	-
ZČU	Západočeská univerzita v Plzni	-

Obsah

Úvod.....	1
1 Možnosti využívání fotovoltaických a solárních elektráren v České republice	2
1.1 Vliv atmosféry na sluneční záření	2
1.1.1 Zeměpisná šířka.....	3
1.1.2 Roční období	4
1.1.3 Místní počasí	6
1.1.4 Poloha plochy dopadajícího solárního záření.....	7
1.2 Možnosti využívání solární energie	7
1.3 Solární termické systémy	8
1.3.1 Solární systémy pro ohřev vody	11
1.3.2 Solární systémy pro vytápění	12
1.4 Fotonvoltaické systémy	12
1.4.1 Fotonvoltaický jev	13
1.4.2 Fotonvoltaický článek	13
1.4.3 Členění fotonvoltaických panelů podle technologie	15
1.4.4 Členění fotonvoltaických článků podle použitých materiálů	16
1.4.5 Aplikace fotonvoltaických systémů	19
2 Návrh solární a fotonvoltaické elektrárny pro rodinný dům v autonomním provozu	22
2.1 Výpočet fotonvoltaické elektrárny	23
2.1.1 Určení spotřeby elektrické energie všech spotřebičů v domácnosti	23
2.1.2 Určení ztrát jednotlivých částí fotonvoltaické elektrárny v autonomním provozu ..	25
2.1.3 Volba stejnosměrného napětí fotonvoltaické elektrárny	26
2.1.4 Určení průměrného slunečního výkonu fotonvoltaické elektrárny	26
2.1.5 Určení potřebné velikosti výkonu fotonvoltaických panelů a elektrocentrály	27
2.1.6 Návrh kapacity akumulátorů pro fotonvoltaický ostrovní systém.....	30
2.2 Výpočet solární elektrárny	32
2.2.1 Střední intenzita slunečního záření.....	32
2.2.2 Skutečná intenzita slunečního záření.....	33
2.2.3 Účinnost solárního kolektoru	33
2.2.4 Objem zásobníku.....	34
2.2.5 Denní spotřeba tepelné energie pro ohřev TUV	34

2.2.6	Absorbční plocha kolektoru	34
2.2.7	Výpočet solární elektrárny pomocí programu Solar verze 2.10.....	35
3	Průzkum trhu dostupných technologií solárních a fotovoltaických elektráren	37
3.1	Český trh pro fotovoltaické elektrárny	37
3.1.1	SOLARTEC s.r.o.	37
3.1.2	GS ENERGY s.r.o.....	38
3.1.3	IBC SOLAR s.r.o.	39
3.2	Český trh pro solární elektrárny	40
3.2.1	Reflex CZ, s.r.o.	40
3.2.2	PROPULS SOLAR s.r.o.	41
3.2.3	REGULUS s.r.o.....	43
4	Ekonomické zhodnocení a legislativní rámec pro stavbu fotovoltaické elektrárny	44
4.1.1	Zákon č. 180/2005 Sb., o podpoře využívání obnovitelných zdrojů	44
4.1.2	Zákon č. 458/2000 Sb., energetický zákon.....	44
4.1.3	Cenové rozhodnutí Energetického regulačního úřadu č. 7/2011.....	44
4.2	Výpočet doby návratnosti.....	46
4.2.1	Investiční náklady pro FV systém	46
4.2.2	Investiční náklady pro solární systém	47
5	Závěr	49
6	Seznam použité literatury.....	50
7	Seznam příloh.....	52

Úvod

Sluneční energie je teoreticky nejdůležitější forma energie potřebná k životu na Zemi. Díky této energii vznikají další energie, které jsou na naší planetě k dispozici. Sluneční záření řídí přírodní procesy, jako například fotosyntézu, vítr, déšť, mořské proudy aj. Fotosyntéza je děj, při kterém vlivem slunečního záření pohlcují rostliny oxid uhličitý a do ovzduší uvolňují kyslík. Ve tmě pak probíhá opačný cyklus. Sluneční záření je pohlcováno rostlinami pomocí chlorofylu, což je zelené barvivo. Jelikož se délka slunečního záření odhaduje na 7 miliard let, řadíme tuto energii mezi obnovitelné energie. [10]

Před řádově stovkami milionů let začala z mrtvých organismů na Zemi vznikat fosilní paliva (uhlí, ropa a zemní plyn). Rychlost čerpání těchto fosilních paliv převyšuje mnohonásobně jejich tvorbu, proto se začíná čím dál více hovořit o možnosti využívání obnovitelných zdrojů energie. Dalším faktorem je také ekologický důvod. Při těžbě ropy nebo zemního plynu se uvolňuje do atmosféry větší množství metanu a při spalování fosilních paliv se produkuje oxid uhličitý. Tyto dvě látky patří mezi tzv. skleníkové plyny, které narušují tepelnou bilanci Země. Tepelné záření vyzařované z povrchu naší planety se vlivem skleníkových plynů absorbuje atmosférou a dochází k růstu teploty. Světová meteorologická organizace (WMO) uvádí, že v roce 2011 došlo k rekordní koncentraci skleníkových plynů od začátku průmyslové revoluce, která nastala v polovině 18. století. Jaderné elektrárny sice nezpůsobují znečištění ovzduší, avšak vlivem jaderných reakcí v reaktorech je možné riziko vzniku termonukleární havárie. Dále také vzniká jaderný odpad ve formě vyhořelých paliv, který se ukládá do speciálních železobetonových kontejnerů v uložisti v podzemí. [10]

Pro Česko se z obnovitelných zdrojů nabízí kromě vodních elektráren, jejichž výstavba je s ohledem na ekologickou a sociální situaci problematická, dvě možnosti uplatnění, a to využití biomasy a slunečního záření. Sluneční energii můžeme využívat v oblasti energetiky pro výrobu elektrické energie pomocí fotovoltaických systémů (dále jen „FV systémů“) nebo pro ohřev vody a vytápění pomocí termických solárních systémů. Na vytápění bytového domu se uvádí spotřeba přibližně 60 % z celkové spotřeby. U rodinného domu je to až 72 %. Na druhém místě je ohřev vody a až na třetím místě je elektrická energie pro provoz domácích spotřebičů. Očividně mají největší uplatnění solární systémy. Navíc i větší část elektrické energie se přeměňuje v domácnosti na teplo (například ohřev vody při praní v automatické pračce). [3, 4]

Na plochu o velikosti běžného rodinného domu dopadne přibližně 100 MW·h energie ročně. Na průměrnou zahradu pak dopadne přibližně 1 GW·h energie. Roční spotřeba elektřiny takového rodinného domu bývá obvykle kolem 4 MW·h. Roční spotřeba na topení pak činí 20 - 30 MW·h. Z těchto údajů pak vyplývá, že solární energie je více než postačující. Díky této univerzální dostupnosti a dosažení dobré účinnosti je přímé využití solární energie největší výhodou. Nepřímé využití této energie (energie větru, vody a biomasy) už tak dostupné nejsou. [1]

FV systémy jsou tedy z hlediska způsobu výroby elektrické energie k životnímu prostředí nejčistější a nejšetnější s časově neomezenou možností výroby. V oblastech, kde není možnost připojení k elektrorozvodné síti, jsou FV systémy technicky i ekonomicky výhodnější, než jsou stávající klasické systémy. V dnešní době vznikají solární zařízení, které jsou nezávislé na napájecí síti, od solárních hraček, přes solární hodinky, kapesní kalkulačky, solární osvětlení zahrad i cest až k napájení obytných budov v tzv. ostrovním režimu, elektrických vozidel se solárním modulem na střeše či dodávají energii pro vědecké přístroje na kosmických stanicích. [7]

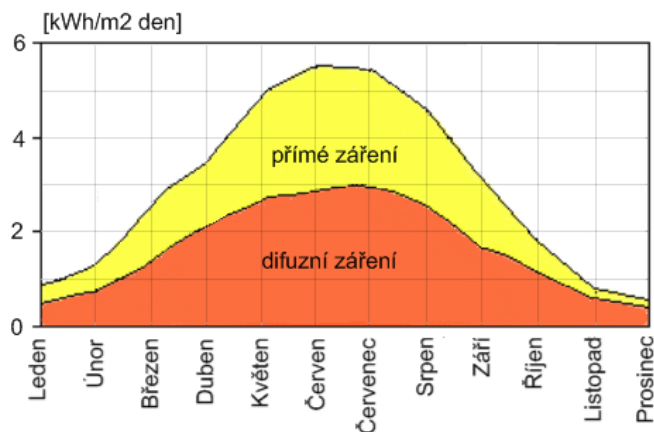
1 Možnosti využívání fotovoltaických a solárních elektráren v České republice

Na povrch Země dopadá energie ze Slunce ve formě slunečního záření neboli ozáření. Energie Slunce vzniká termonukleární reakcí, kdy se v nitru Slunce za teploty $13 \cdot 10^6$ K a tlaku $20 \cdot 10^{10}$ MPa přeměňuje vodík na helium. Velikost uvolněné energie v průběhu přeměny vodíku na helium činí $3,8 \cdot 10^{26}$ J. Tato energie se přenáší na povrch Země ve formě elektromagnetického záření. Elektromagnetické záření se dělí podle vlnové délky na rádiové vlny (2000 m – 0,1 m), mikrovlny (0,1 m – 0,1 mm), infračervené záření (0,1 mm – 790 nm), viditelné světlo (790 nm – 390 nm), ultrafialové záření (390 nm – 10 nm), rentgenové záření (10 nm – 1 pm) a záření gama (menší než 1 pm). Do oblasti využívání solární energie patří pouze viditelné světlo a infračervené záření. Viditelné světlo je jediné elektromagnetické záření, které člověk vnímá pouhým okem. Infračervené záření vnímá jako tepelné záření. [1, 6, 7, 10]

1.1 Vliv atmosféry na sluneční záření

Dopadající záření na hranici naší atmosféry se uvádí jako solární konstanta a její hodnota činí $1,37 \text{ kW} \cdot \text{m}^{-2}$. Celkem tedy dopadá na celý povrch atmosféry Země 180 000 TW. Celosvětová spotřeba energie činí asi 10 TW, což znamená, že teoreticky by solární energie mohla nahradit všechny ostatní zdroje. Ovšem s dopadem záření na povrch Země je to jinak. Část energie se odrazí, rozptýlí či pohltí atmosférou. Dojde ke změně spektra záření a k snížení celkové intenzity záření, což způsobuje např. výška slunce nad obzorem, tloušťka vrstvy vzduchu (sluneční paprsky musí touto tloušťkou projít), nadmořská výška plochy, na kterou sluneční záření dopadá, míra znečištění atmosféry (vyšší obsah aerosolů nad velkými městy a průmyslovými továrnami) a mraky, což je největší překážka v atmosféře. [1, 3]

Veškeré sluneční záření dopadající na zemský povrch označujeme jako globální záření. Rozlišuje se přímé a nepřímé (difúzní, rozptýlené) záření. Přímé záření je sluneční záření, které dopadá na plochu bez rozptylu v atmosféře. Difúzní záření je sluneční záření, které dopadá na plochu a vlivem rozptylu v atmosféře změnil směr (způsobené rozptylem o molekuly plynů ve vzduchu, vody, vodní páry a částic prachu). Při zatažené obloze se tedy projevuje pouze difúzní záření. Velikost tohoto záření je tím větší, čím blíže je Slunce. Čím vyšší je podíl rozptýleného záření oproti přímému záření, tím nižší je využitelnost energie globálního záření. Rozptýlené záření obsahuje v letním období přibližně 50 % celkového podílu. V zimním období je tato hodnota vyšší (viz. Obr. 1.1). [1, 4, 6]



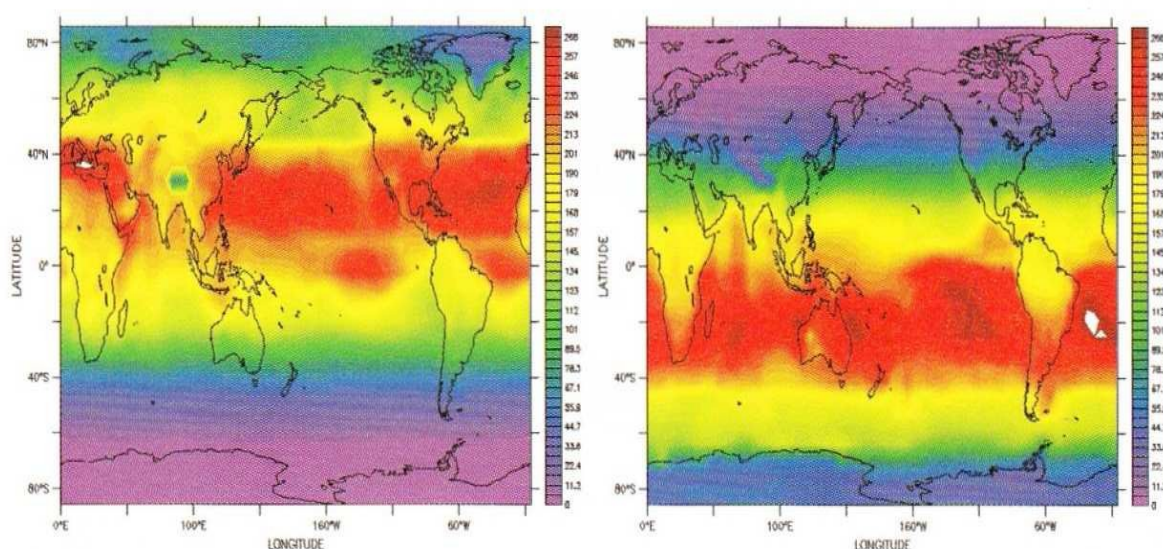
Obr. 1.1 Poměr přímého a difúzního záření v podmínkách České republiky [18]

Velikost energie dopadajícího záření na povrchu Země tedy závisí na těchto faktorech:

- zeměpisná šířka,
- roční období,
- místní počasí,
- poloha plochy dopadajícího solárního záření. [3]

1.1.1 Zeměpisná šířka

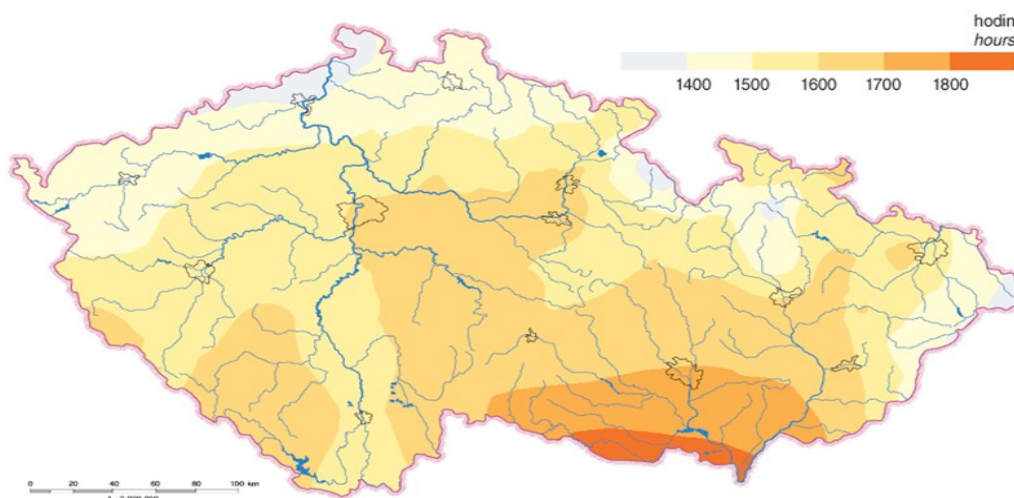
Jak je vidět na Obr. 1.2, největší intenzita záření je v oblasti rovníku. Naopak nejmenší intenzita záření je u severního a jižního pólu.



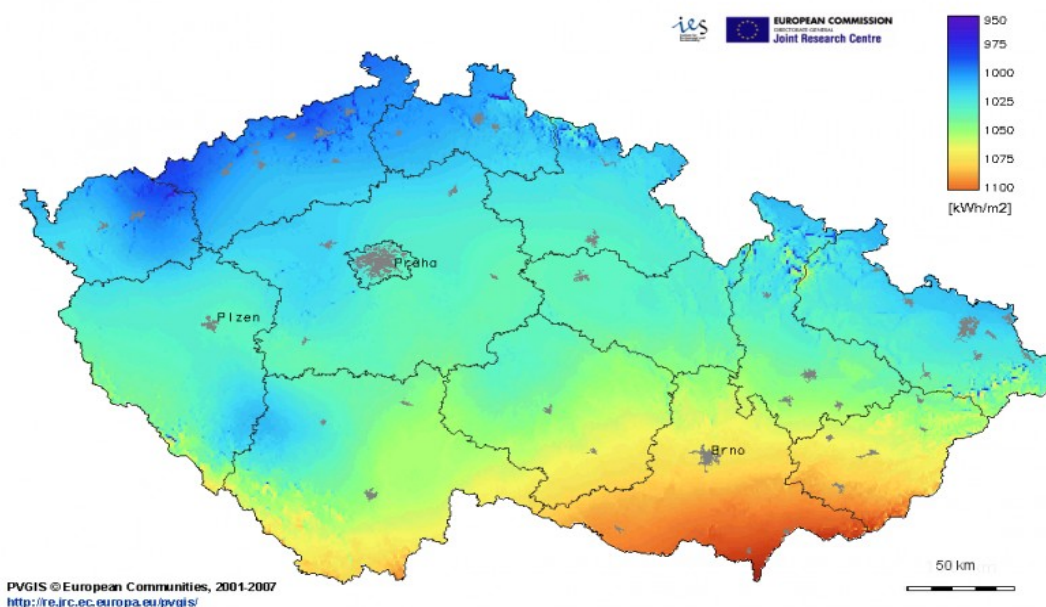
Obr. 1.2 Průměrné intenzity záření dopadajícího na povrch Země v období letním a zimním [3]

Česká republika je vnitrozemský stát nacházející se na severní polokouli ležící v mírných zeměpisných šířkách. Obr. 1.4 demonstruje trvání slunečního záření za jeden rok. Průměrná doba solárního svitu bez oblačnosti je od 1400 do 1700 hodin. Intenzita solárního záření se pohybuje v rozmezí 950 – 1250 kWh·m⁻². Maximální hodnoty solárního záření (1250 kWh·m⁻²) a doby solárního svitu (1700 hodin) na našem území jsou dosaženy na jižní Moravě, což je nejnižší oblast na našem území, která se blíží k oblasti rovníku. Tyto údaje jsou důležité pro energetickou bilanci a návratnost investice FV systémů. Pro fotovoltaický panel (dále jen „FV panel“) činí optimální sklon na území České republiky 35°. Pro získání nejvyšších hodnot doby trvání solárního svitu je vhodná orientace panelů na jih při sklonu 45°. [16, 17, 18]

Pokud známe intenzitu záření a účinnost FV panelu, můžeme zjistit čistý využitelný elektrický výkon na 1 m² panelu. Při průměrné účinnosti panelu 14 % můžeme získat na 1 m² okolo 133 až 175 kWh za rok čisté energie. V lokalitách, které mají silně znečištěnou atmosféru vlivem průmyslu a dopravy, je nutné počítat s 5 - 10 % poklesu intenzity záření, někdy je to hodnota až 20 %. Naopak ve výše položených oblastech od 700 do 2000 m n. m. lze počítat s 5 % nárůstem intenzity záření. Největší hodnoty dopadu solárního záření za rok na naši Zemi dosahují hodnoty přes 2200 kWh/m² za rok. [16, 17, 18]



Obr. 1.3 Mapa trvání slunečního svitu za jeden rok v České republice [18]



Obr. 1.4 Průměrná hodnota energie slunečního záření dopadající za rok v České republice [17]

1.1.2 Roční období

Intenzita slunečního záření se mění v průběhu celého roku. Závisí na ročním období, tedy na vzdálenosti Země od Slunce a délce slunečního svitu za den. V létě je den delší, zatím co v zimě je den kratší a slunce je na obloze nízko. Pro podrobnější údaje o intenzitě, množství slunečního záření, podílu difúzního záření na globální záření a optimálním sklonu FV panelu lze použít interaktivní mapu Evropy a databázi pro výpočet intenzity slunečního záření a množství energie, které může FV systém

dodat. Fotovoltaický informační systém neboli PVGIS (Photovoltaic Geographical Information System) využívá meteorologická data, která slouží pouze pro odhad. Tento systém je dostupný na webovém portálu Evropské komise z [12]. Existuje několik zdrojů o údajích slunečního záření v určitém regionu, avšak žádný z nich není dokonale přesný. Pro ilustraci jsou v tabulkách Tab. 1.1 a Tab. 1.2 uvedeny měsíční sluneční ozáření v Ostravě a v Brně. [3, 12]

Ostrava

- Poloha: 49° 50' 28'' severní šířky, 18° 17' 24'' východní délky, nadmořská výška: 213 m n. m.,
- Optimální úhel náklonu FV panelu je: 35°

Tab. 1.1 Měsíční sluneční ozáření v Ostravě [12]

Měsíce	H_H	H_{OPT}	$H_{(40)}$	I_{OPT}	D/G	T_D
	($W \cdot h \cdot m^{-2} \cdot den^{-1}$)	($W \cdot h \cdot m^{-2} \cdot den^{-1}$)	($W \cdot h \cdot m^{-2} \cdot den^{-1}$)	(°)	(-)	(°C)
leden	787	1260	1310	64	0,69	-1,4
únor	1440	2080	2130	57	0,63	1,2
březen	2380	2960	2980	45	0,61	4,3
duben	3530	3910	3880	31	0,57	10,6
květen	4700	4770	4680	20	0,55	15,8
červen	4800	4660	4550	13	0,58	18,4
červenec	5040	5010	4910	17	0,54	20,2
srpen	4210	4510	4460	27	0,55	20,1
září	2790	3350	3360	41	0,57	15,7
říjen	1950	2790	2850	55	0,56	11,5
listopad	878	1320	1360	61	0,69	5,3
prosinec	590	930	961	64	0,74	-0,2
Rok	2770	3140	3130	35	0,58	10,1

Z hodnot v Tab. 1.1 vyplývá, že největší ozáření v Ostravě dopadá v měsíci červenec, kdy je zároveň nejmenší podíl difúzního záření na globálním záření. Tento podíl činí 54 % a zaručuje vyšší využitelnost sluneční energie. Optimální sklon FV panelu je v tomto měsíci 17°, jelikož je Slunce na obloze výše než např. v prosinci, kdy je optimální sklon 64°. V prosinci je podíl difúzního záření na globálním záření 74 %. Jedná se tedy o měsíc s nejmenším ozářením v roce.

Brno

- Poloha: 49° 11' 27'' severní šířky, 16° 36' 41'' východní délky, nadmořská výška: 205 m n. m.,
- Optimální úhel náklonu FV panelu je: 34°

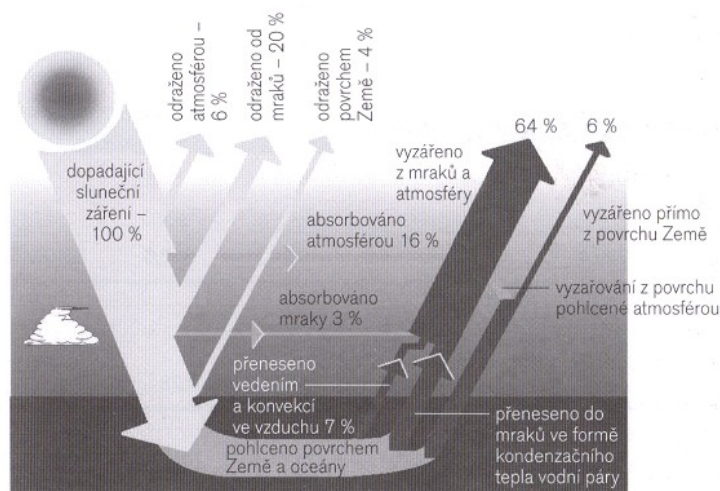
Tab. 1.2 Měsíční sluneční ozáření v Brně [12]

Měsíce	H_H ($W \cdot h \cdot m^{-2} \cdot den^{-1}$)	H_{OPT} ($W \cdot h \cdot m^{-2} \cdot den^{-1}$)	$H_{(40)}$ ($W \cdot h \cdot m^{-2} \cdot den^{-1}$)	I_{OPT} (°)	D/G (-)	T_D (°C)
leden	782	1190	1240	62	0,71	-1,1
únor	1440	2050	2100	56	0,64	1,8
březen	2510	3120	3160	45	0,59	5,2
duben	3860	4300	4270	32	0,54	11,3
květen	4970	5070	4960	20	0,52	16,4
červen	5170	5040	4900	13	0,54	19,1
červenec	5370	5360	5230	17	0,5	20,9
srpen	4490	4840	4790	28	0,51	21
září	3040	3680	3700	41	0,54	16,3
říjen	2000	2830	2910	55	0,55	11,5
listopad	882	1270	1310	59	0,72	5,3
prosinec	564	834	863	62	0,77	0
Rok	2930	3310	3290	34	0,55	10,7

Z těchto tabulek je očividné, že celkové ozáření za rok v Brně je větší než v Ostravě. Vyplývá to ze zeměpisné polohy měst. Brno leží v nižších zeměpisných šířkách, kde dopadá více solárního záření (jak už bylo uvedeno, na jihu Moravy dopadá nejvíce solárního záření).

1.1.3 Místní počasí

Na Obr. 1.5 je vidět dopad slunečního záření na povrch Země včetně odrazení a pohlcení částí záření. Největší vliv na dopad záření představují mraky. Za jasné oblohy dopadá na zemský povrch přibližně 75 % záření, což představuje asi $1 \text{ kW} \cdot \text{m}^{-2}$. Při zatažené obloze dopadá méně než 15 % záření, což představuje méně než $200 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$. Oblačnost způsobuje rozptýlení dopadajícího záření. [3]



Obr. 1.5 Energetická bilance Země [3]

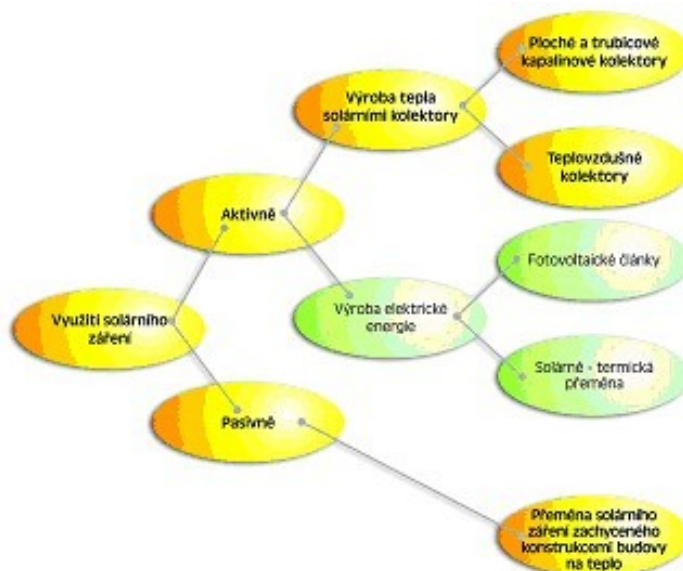
1.1.4 Poloha plochy dopadajícího solárního záření

Největší výkon ze slunečního záření získáme při náklonu plochy, která je kolmá k dopadajícím paprskům, proto se k FV panelům konstruují natáčecí zařízení, které se natáčí za Sluncem, aby paprsky dopadaly kolmo na FV panel. Toto zařízení je ovšem drahé. V praxi se solární zařízení instalují s náklonem přibližně 45° na jih z důvodu celoročního zisku. Jelikož v zimním období je Slunce níže a zároveň dopadá pouze 15 % záření, můžeme pro větší zisk použít náklon s úhlem 60° . V letním období pro větší zisk pak můžeme použít náklon 30° . [1, 3, 10]

1.2 Možnosti využívání solární energie

Jak už bylo zmíněno, v praxi nelze využít veškerou solární energii, která dopadá na určitou plochu na Zemi. Velikost této energie ovlivňuje celá řada faktorů. Mezi nejvýznamnější z nich patří účinnost systémů, kterými se zachycuje dopadající energie ze Slunce. Ta se následovně přeměňuje na jiný druh energie. Těmito systémy mohou být okna, kolektory, fotovoltaické články (dále jen „FV články“) apod. Tato účinnost nikdy není 100%. Průměrná účinnost kolektorů pro ohřev vody bývá kolem 30 a 40 %. U FV článků to bývá zpravidla hodnota okolo 10 %. Dalším důležitým faktorem je nepoměr mezi momentálně vyrobenou a okamžitě spotřebovanou energií. Tento problém se řeší určitým druhem akumulace. [3]

Solární energii můžeme využívat pasivně nebo aktivně. Pasivní využívání znamená využívání bez strojního zařízení (čerpadel, ventilátorů). Je založeno na využití tzv. sluneční architektury. Energie je zachycována vlastní stavbou. Aktivní využívání slunečního zařízení znamená přímou přeměnu na teplo či elektrickou energii. Mezi pasivní sluneční architektury patří: slunečné okno, sluneční skleník, nevětraná či větraná sluneční stěna. Využitelnost těchto pasivních prvků je maximální v zimním období. V letním období se snažíme minimalizovat jejich tepelný zisk, a to stínícím zařízením. Mezi tato zařízení patří předsunuté stříšky, pevné mřížové žaluzie, termochromická zasklení (při vyšší teplotě změní svou propustnost slunečního záření) nebo automaticky ovládané žaluzie. [6]



Obr. 1.6 Způsoby využití slunečního záření [16]

Podle energetické přeměny tedy rozlišujeme tyto skupiny:

- přeměna slunečního záření na teplo (solární systémy s instalovanými solárními kolektory),
- přeměna na elektrickou energii (FV systémy s instalovanými FV panely),
- přeměna na mechanickou nebo chemickou energii (štěpením vazby v chemických sloučeninách pro odbourání pesticidů v odpadních vodách nebo na výrobu vodíku). [3]

Využívání solární energie má minimální dopady na životní prostředí. Během výroby neprodukuje žádné škodlivé odpadní látky a je zcela bezhlučný. Většina solárních systémů je technicky jednoduchá, vyznačuje se dlouhou životností a minimálními nároky na obsluhu, tzn. snadná elektronická regulace. Oproti vodních či větrných elektrárn se dají instalovat i v hustých městských oblastech. Nevýhodou solární energie je malá plošná hustota, a tím tedy musí být solární systém poměrně velký. Další nevýhodou je nízká průměrná roční intenzita solárního záření, krátká průměrná roční doba solárního svitu a velké pořizovací náklady na instalaci. Dále je potřeba dalšího zdroje, který by zastoupil solární systém v době, kdy je nedostatečný solární svit. [3, 8]

V podmínkách v České republice je potřeba k zajištění 60 až 70 % roční potřeby tepla pro ohřev vody v čtyřčlenné domácnosti 8 m² kolektorů a 400 litrový boiler, což činí přibližně 120 – 150 tisíc Kč. Se zásobníkovým ohřevačem o objemu 60 až 80 litrů, který je nahříván vodou z plynového kotle pokryjeme 100 % potřeby tepla v hodnotě řádově 10 000 Kč. V případě použití FV panelu, který má menší účinnost a podstatně vyšší cenu než kolektory, by se jednalo o větší náklady. Pokud tato domácnost spotřebuje za rok 6 MW·h elektrické energie, tak pro zajištění 60 % spotřeby by bylo potřeba 40 m² FV panelů v hodnotě přibližně 1 mil. Kč. [3]

1.3 Solární termické systémy

Jak již bylo v úvodu zmíněno, udává se, že z celkové spotřeby energie v domácnosti (podle typu domu) je potřeba 44 - 72 % energie na vytápění, 18 - 36 % na ohřev vody a 10 - 20 % pro domácí spotřebiče. V praxi se termické solární systémy nejčastěji využívají na ohřev vody, zbytek pak na vytápění, ohřev bazénu, solární chlazení a solární větrání. Základem termického solárního systému je solární kolektor čili sběrač, který absorbuje teplo, které kapalinou či vzduchem přenáší k místu využití či uložení. V České republice jsou nejpoužívanější systémy využívající k přenosu tepla vodu či nemrznoucí směs. Systémy využívající k přenosu tepla vzduch jsou využívány např. v USA. Výhodou je jednoduchá konstrukce. Nevýhodou je malá tepelná kapacita vzduchu (měrná tepelná kapacita vzduchu činí přibližně 1 kJ.kg⁻¹.K⁻¹), a tím potřeba velkých průměrů rozvodných potrubí se zásobníky o velkém objemu. [3, 10]

Mezi základní části solárního systému patří:

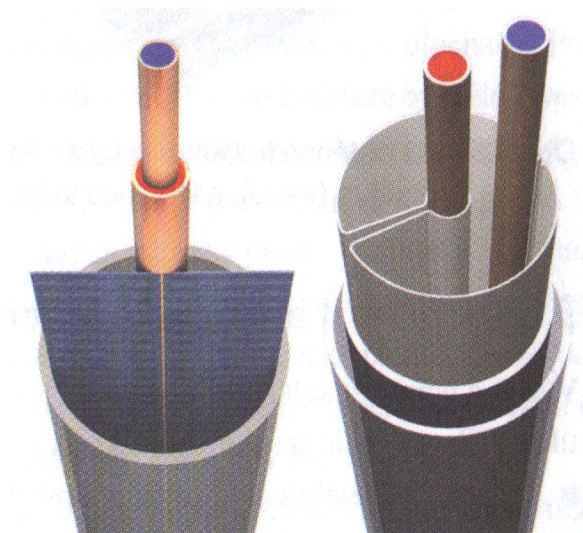
- kolektor,
- zásobník pro akumulaci tepelné energie,
- transportní systém (potrubí, oběhové čerpadlo) převádějící teplo z kolektoru do zásobníku či přímo do místa potřeby,
- regulační zařízení zajišťující přechod přímo z kolektoru do zásobníku a ne naopak,
- záložní zdroj tepla pro spotřebu tepla v době bez slunečního svitu. [3]

Je důležité zmínit, že není pravidlem, že solární systém obsahuje všechny tyto části. Podle principu dělíme kolektory na kolektory z umělých hmot, koncentrující, vakuové a ploché. [3]

Absorbéry z umělých hmot slouží pro ohřev vody na relativně nízkou teplotu, a to konkrétně na ohřev bazénů. Mají totiž omezenou odolnost proti tlaku a teplotám. Provoz těchto kolektorů bývá v jednookruhovém systému (viz. Obr. 1.11). Jelikož je absorbér z umělých hmot, tedy z nekorodujícího materiálu, může jím přímo protékat pomocí oběhového čerpadla chlorovaná voda z bazénu. Tento druh kolektoru se používá pouze v letním období. Na konci tohoto období je nutno kolektory vyprázdnit, aby nedošlo k jejich poničení vlivem mrazu. Plocha kolektorů je přibližně rovna ploše hladiny bazénu. Na našem trhu jsou k dispozici absorbéry TPA 020 od firmy Ekosolaris, Soladur S, plastové kazety KM Solar či Enersol, kde trubicové absorbéry jsou ze speciální gumy a odolávají UV zářením. [4, 3]

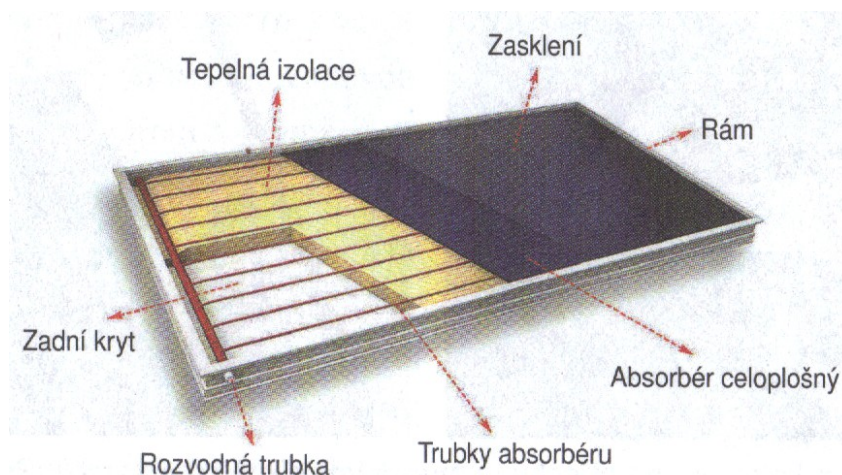
Koncentrující kolektory soustřeďují sluneční záření na absorbér (potrubí, kterým protéká teplotná kapalina) pomocí odrazu (válnové zrcadla) nebo lomu (kulové čočky). Aby docházelo k neustálé koncentraci záření na absorbér, musí se zrcadla (čočky) natáčet za sluncem, proto je tento princip výroby tepla značně nákladný. [4, 6]

Vakuové kolektory se vyrábějí ve formě trubic s úzkým pásem absorbéru pokrytým tzv. selektivní vrstvou, který je vložen do skleněné trubice. Rozlišujeme dvě základní provedení trubkových vakuových kolektorů, a to kolektory s jednostěnnou trubicí či s dvojstěnnou trubicí (viz. Obr. 1.7). Mezi absorbérem a krytem je prostor vakuován, což vede ke snížení tepelných ztrát. Nevýhodou jsou vysoké pořizovací náklady a nemožnost obnovit vakuum. Použití vakuových kolektorů je vhodné do nadměrných klimatických podmínek, např. na horských chatách. Jedná se o kolektory s nejvyšší účinností s provozními teplotami nad 100 °C. Vakuový kolektor Heliostar nám nabízí vyčerpání vzduchu z kolektorů na tlak do 100 Pa pomocí rozpěrek mezi skříni a krycím sklem. Dále například firma VacuSol vyrábí kolektor s trubicemi o vysokém vakuu ($p = 10^{-3}$ Pa). [2, 4, 6]



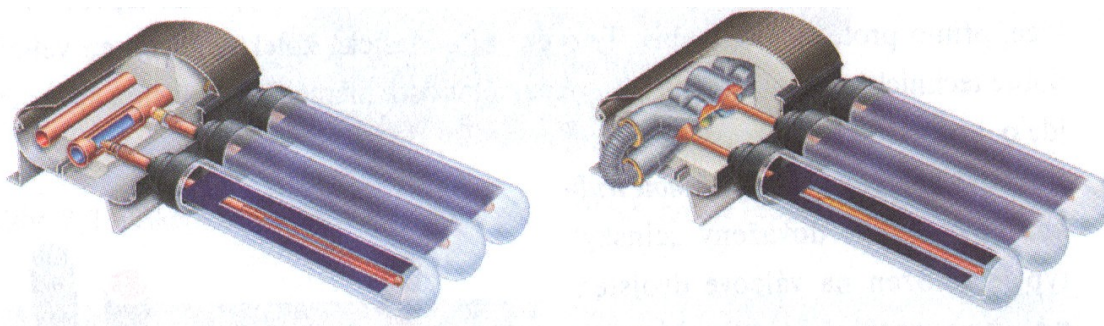
Obr. 1.7 Jednostěnná vakuová trubka (plochý absorbér vlevo) a dvojstěnná vakuová trubka (válnový absorbér vpravo), archiv Regulus [2]

Ploché kolektory jsou nejrozšířenějším typem. Jsou zasklené a mají plochý absorbér (viz. Obr. 1.8). Využívají se jak pro ohřev užitkové vody, celoroční ohřev bazénové vody, tak i pro vytápění s provozními teplotami do 100 °C. Skládají se z absorbérů, skříně, izolace a krycího skla. Průhledným krycím sklem proniká viditelné záření a dopadá na absorbér, kde se mění v teplo. Dochází zde ke skleníkovému jevu. Absorbér tvoří hliníkový či měděný plech s navařenými měděnými trubicemi. Jeho povrch je natřen černou barvou (u dražších typů se jedná o selektivní spektrální nátěr pohlcující až 96 % záření), aby docházelo k co největšímu pohlcení záření. Krycí sklo neobsahuje železo (neleskne se), aby docházelo k minimálním tepelným ztrátám. Potom absorbér může pohltit téměř veškeré záření. Skříň může být kovová, plastová či dokonce dřevěná. Účelem je uchycení kolektoru na střechu nebo stěnu a ochrana před povětrnostními vlivy. Ve skříních jsou umístěné větrací komory pro odvod vlhkosti, které zároveň zabráňují orosení krycího skla. Izolace je zhotovena z minerální vlny či polyuretanu. Brání úniku tepla a izoluje absorbér od vlhkosti z okolního prostředí. Pro velké solární soustavy se používají velkoplošné ploché kolektory s plochou 4 až 10 m². [2, 4, 10]



Obr. 1.8 Plochý solární kolektor s lyrovým absorberem [2]

V poslední době vznikla varianta plochých vakuových kolektorů (viz. Obr. 1.9). Kombinují výhody trubkových vakuových kolektorů (menší tepelné ztráty prouděním do okolí) a plochých zasklených kolektorů se selektivní vrstvou (menší pořizovací náklady při stejné vysoké účinnosti). Hlavní výhodou je možnost obnovení vakua uvnitř kolektorů. [4, 9]



Obr. 1.9 Jednostěnné trubkové vakuové kolektory: s koncentrickým potrubím (vlevo), s tepelnou trubicí (vpravo), archiv Viessmann [2]

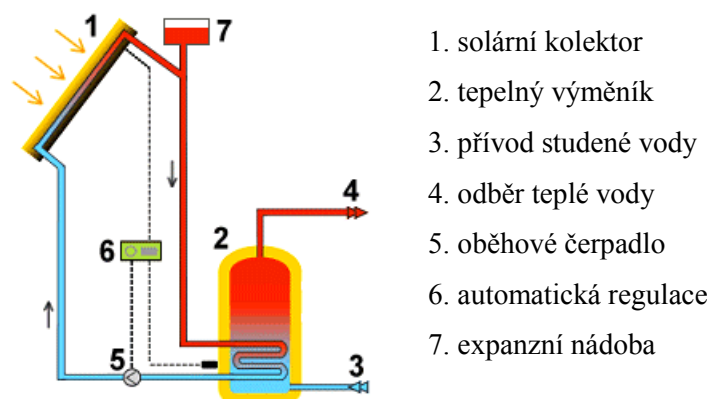
Účinnost solárních kolektorů je obecně definována jako poměr mezi tepelným výkonem odevzdaným kolektorem a solárním ozářením dopadajícím na plochu kolektoru. K maximální účinnosti dochází tehdy, pokud nevznikají tepelné ztráty do okolí, nebo-li pokud teplota kapaliny v kolektoru je rovna venkovní teplotě. [4, 9]

Kolektory můžeme instalovat na střechu, plochou stěnu či na podstavec v blízkosti domu bez dopadu stínu na plochu kolektoru po celý rok. Důležité je ovšem to, aby potrubí vedoucí z absorberu do zásobníku a zpět bylo co nejkratší kvůli omezení tepelných ztrát. Průměry potrubí bývají v rozmezí 18 až 28 mm a závisí na ploše kolektorů a délce okruhu. Konstrukce musí odolávat různým přírodním vlivům (vítr, sníh). Plochy by měly být orientované směrem k jihu nebo jihozápadu. Ideální sklon kolektoru je kolmo k dopadajícím paprskům. V létě je optimální sklon 20 – 30°, v zimě přibližně 60°. V našich podmínkách pro celoroční využití k ohřevu užitkové vody je ideální sklon 50°. [4, 10]

1.3.1 Solární systémy pro ohřev vody

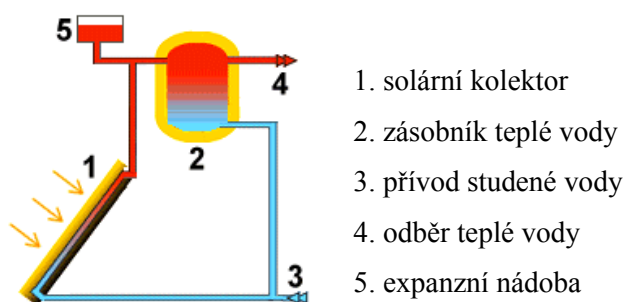
Solární energie umožňuje získat v letním období až 100 % energie z celkové spotřeby teplé vody. V zimním období slouží kolektory pouze pro předehřátí vody. Celoročně se získává solárním ohřevem teploty 30 až 50 °C. Rozlišujeme solární systémy se samovolnou cirkulací a systémy s nuceným oběhem. Zařízení se samovolnou cirkulací neobsahují oběhové čerpadlo (ohřátá voda z kolektoru stoupá vzhůru a studená voda ze zásobníku klesá dolů). Potrubí je co nejkratší a bez oblouku, tedy bez odporu proudění vody. Instalují se na ploché střechy, a to v severní Africe a jižní Evropě. V České republice se pro ohřev vody používá především dvouokruhové solární systémy s nuceným oběhem (viz. Obr. 1.10). Cirkulaci vody zajišťuje čerpadlo. Princip tohoto systému je prostý. Dopadající sluneční záření na kolektor předá energii teplotně náročné kapaliny, které protéká potrubím do zásobníku (boileru). Zde předává teplo měděnými stěnami ohřívání pitné vodě. [4, 10]

Jako teplotně náročná kapalina se používá nemrznoucí kapalina na bázi propylenglykolu. Zásobník by měl mít kapacitu na několik dnů a bývá umístěn ve sklepě. Potrubí i zásobník musí být dobře tepelně izolovány, aby nevznikaly zbytečné tepelné ztráty. Pomocí čerpadla je teplotně náročná kapalina hnána zpět do kolektoru. Uplatňují se čerpadla s rotory z trvalých magnetů. Pokud je nainstalován FV panel, je možno použít čerpadla na stejnosměrný proud získaný z panelu. Expanzní nádoba vyrovnává změny objemu teplotně náročné kapaliny vlivem objemové roztažnosti. Tepelný výměník odděluje solární okruh s nemrznoucí kapalinou od okruhu s pitnou vodou. Pro solární soustavy o ploše do 20 m² se používá jako výměník tepla hladké či žebrované potrubí. Nad 20 m² se používá deskový výměník. Automatická regulace je velmi důležitou částí systému, jelikož řídí provoz. Tato spínací jednotka řídí systém na základně teplotních čidel. Pokud je teplota v absorberu větší o určitou nastavenou velikost než teplota ve spodní části zásobníku, zapne spínací jednotka oběhové čerpadlo. Pokud je tato teplota nižší než v zásobníku, vypne jednotka oběhové čerpadlo. Mezi další funkce regulace patří zabezpečení zásobníku proti přehřátí apod. [4, 10]



Obr. 1.10 Dvouokruhový kapalinový solární systém [10]

Pro ohřívání bazénu v letní sezóně se používá jednookruhový kapalinový solární systém. Studená voda je přiváděna do kolektoru, kde dochází k jejímu ohřevu. Tato teplá voda se akumuluje v zásobníku. Tento jednoduchý systém je zobrazen na Obr. 1.11. [9]



Obr. 1.11 Jednookruhový kapalinový solární systém [10]

1.3.2 Solární systémy pro vytápění

Základem pro solární vytápění je vysoká tepelná izolace budovy, roční spotřeba vytápění by měla být menší než $50 \text{ kWh} \cdot \text{m}^{-2}$ a vytápění by mělo ideálně vést stropem, stěnami či pod podlahou. Pro rodinný dům je solární vytápění velmi nákladné. Základním problémem pro solární vytápění je potřeba velké plochy kolektorů, které by měli mít sklon nejméně 40° s orientací nejlépe k jihu. Pro ohřev užitkové vody je potřeba přibližně 4 m^2 kolektorů, zatímco pro solární vytápění je plocha kolektorů dvojnásobná až čtyřnásobná. Dalším problémem je nabídka sluneční energie. Největší intenzita záření je v letním období, kdy není potřeba vytápět, naopak v zimním období je intenzita záření nejmenší, proto solární vytápění představuje pouze doplňkové zařízení. Pro tento systém je nejlepší použití trubicových vakuových kolektorů. [4, 17]

1.4 Fotovoltaické systémy

Tyto systémy využívají přímou přeměnu sluneční energie na elektrickou energii. Základním prvkem je polovodič označovaný jako FV článek. Polovodiče jsou látky, které se mohou chovat jako izolanty nebo za změnu podmínek jako vodiče, kterými prochází proud. Oproti vodičům mají polovodiče mnohem větší měrný odpor, proud vedou kromě uvolněných elektronů i kladné „díry“ a

při zahřátí či osvětlení se zmenšuje jejich odpor. Prázdné místo po uvolnění elektronu, kde chybí záporný náboj, označujeme jako „díra“. Na tuto pozici může přeskočit jiný uvolněný elektron, který nahradí záporný náboj. „Díra“ se tedy může ve vrstvě pohybovat. Chová se jako volný kladný náboj. Této reakci říkáme rekombinace. FV článek je velkoplošná dioda alespoň s jedním PN přechodem. Přechod PN je styk dvou polovodičových prvků, a to polovodiče typu P (pozitivní) s děrovou vodivostí, které mají nadbytek „děr“ a polovodiče typu N (negativní) s elektronovou vodivostí, které mají nadbytek elektronů. Přechod PN má usměrňovací vlastnost. V jednom směru jím elektrický proud může téct (propustný směr). V opačném směru už téct nemůže (závěrný směr). Vlivem tohoto PN přechodu dochází k oddělení elektronů z děr, je to základ pro usměrňovací diody, tranzistory a další podobné elektronické součástky. [5, 10]

1.4.1 Fotovoltaický jev

Fotovoltaický jev (dále jen „FV jev“) objevil už v roce 1839 A. E. Becquerel. Při dopadu slunečního záření na FV článek vznikají elektricky nabitě částice (vznik dvojice volný elektron a „díra“). Dochází k jejich oddělování vnitřním elektrickým polem, který vznikl na PN přechodu. Rozdělením náboje vzniká napěťový rozdíl mezi předním (-) a zadním (+) kontaktem článku. Uzavřením vnějšího obvodu lze získat stejnosměrný proud, který je přímo úměrný ploše článku a intenzitě dopadajícího solárního záření. Volné elektrony mohou vznikat v každém kovu. Je ovšem potřeba jim dodat potřebnou energii a usměrnit jejich tok. [1, 3, 5]

Solární záření se za určitých podmínek chová jako proud částic (fotony). Foton solárního záření umožňuje přenos své energie elektronu v kovu či v polovodiči. Pokud je energie záření dostatečná, uvolní se elektron z povrchu kovu a zanechá po sobě kladný náboj („díru“). My ovšem nepotřebujeme, aby tento elektron vylétl pryč, ale aby byl „protlačen“ elektrickým obvodem do zátěže (tj. do spotřebiče). Tento elektron je pak přitahován zpět do „díry“, kterou po sobě zanechal, a proto je nutné, aby nejdříve prošel elektrickým obvodem, kde předá svou energii ze slunečního záření, teprve potom může rekombinovat s dírou. Kdyby neprocházel tento elektron vnějším elektrickým obvodem, byl by po chvíli vtažen do „díry“ a jeho energie z fotonů by se uvolnila ve formě tepla. FV jev můžeme pozorovat na LED diodě. Pokud tuto diodu vystavíme slunečnímu záření, objeví se na jejích kontaktech napětí. Jedná se de facto o opačný jev, než u používání LED diody, kdy se elektrická energie přeměňuje na světelnou energii. [1, 3, 5]

1.4.2 Fotovoltaický článek

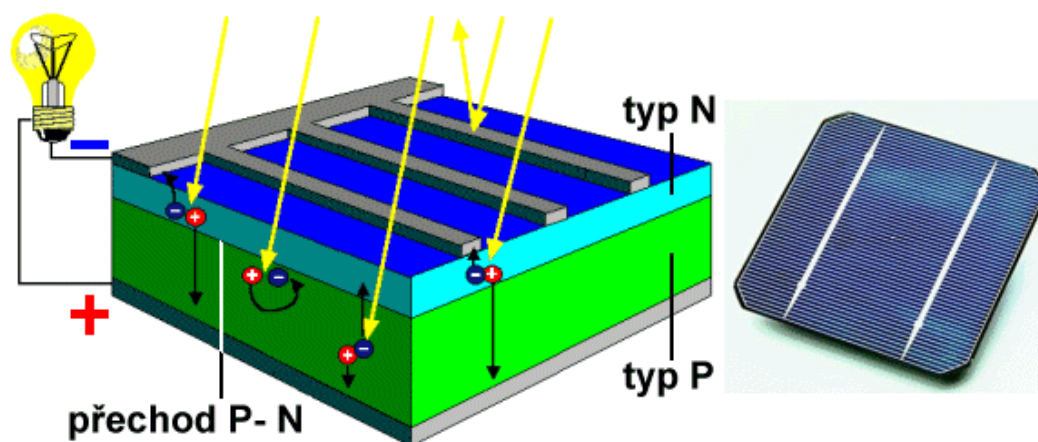
FV článek se chová jako zdroj konstantního proudu. Napětí jednoho článku činí přibližně 0,5 V (při chodu naprázdno má hodnotu 0,6 V), proto se používá sériové nebo i sériově-paralelní propojení více článků. Standardně to bývají moduly s 36 nebo 72 články, které dosahují 18 nebo 36 V. Tato kombinace článků tvoří FV panel. Většina panelů je opatřena předním krycím sklem. FV články jsou zalaminovány do struktury plastových folií. Výkon těchto článků o ploše 1 m^2 dosahuje přes 100 W. Udává se však špičková hodnota výkonu $130 - 160 \text{ Wp} \cdot \text{m}^{-2}$. Tato hodnota (Wp) se udává při ideálních podmínkách, tj. při intenzitě přímého slunečního záření $1000 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$, které dopadá kolmo na panel při teplotě 25°C . [5, 8]

Pro výrobu těchto článků se používá krystalický křemík (Silicium). Křemík je druhý nejrozšířenější prvek na Zemi (prvním prvkem je kyslík). Z hlediska chemických vlastností není křemík jedovatý a nepůsobí negativně na životní prostředí. Z hlediska metalurgických vlastností se

vyznačuje dobrou pevností, snadnou tavitelností a rychlou krystalizací. A samozřejmě vykazuje dobré elektrické vlastnosti, díky nimž můžeme použít křemíkové prvky v oblasti vysokých výkonů. Jeho struktura se podobá struktuře diamantu. Dnes je možno získat krystaly křemíku čistoty až 99,99998 %. Tuhý křemík má atomovou mřížku spojenou kovalentními vazbami. Jeho vodivost se mění vlivem příměsí, což bývá fosfor či bor. Tomuto ději říkáme dopování křemíku. Samotný křemík má čtyři valenční elektrony. [6, 10]

Křemíkový článek využívá fotony s energií větší než asi 1,1 eV (elektronvolt). Jedná se o záření s vlnovou délkou menší než 1 100 nm. Čím je vlnová délka fotonů kratší, tím je jejich energie větší. Energie slunečního záření procházející atmosférou se pohybuje v rozmezí od 0,5 eV (infračervené záření) do cca 2,9 eV (ultrafialové záření). Jelikož každý foton uvolní pouze jeden elektron a přebytek energie se přemění v teplo, můžeme využívat pouze asi 55% energie záření. U reálných článků jsou další ztráty, proto v praxi bývá účinnost v rozmezí 10 – 20 %. [1]

FV článek se skládá ze dvou vrstev. Jedna vrstva tedy obsahuje menší počet elektronů – polovodič typu P (například bor, který má tři elektrony) a druhá vrstva obsahuje větší počet elektronů – polovodič typu N (například fosfor, který má pět elektronů). V tomto článku je vytvořen PN přechod opatřený z obou stran kovovým kontaktem. Jak už bylo řečeno, dojde k uvolňování záporných elektronů z krystalické mřížky křemíku a k jeho přechodu z polovodiče typu N do polovodiče typu P. Na PN přechodu se objeví elektrické pole, které zastaví další přechod elektronů. Toto pole pošle elektrony do polovodiče typu N a díry do polovodiče typu P. Tím se vytvoří na kontaktech elektrické napětí. Připojíme-li na tyto kontakty nějaký spotřebič, dojde k vyrovnávání kladných a záporných nábojů. Obvod bude uzavřený a bude jím protékat elektrický proud (viz. Obr. 1.12). [3, 10]



Obr. 1.12 Princip činnosti FV článku [10]

FV články jsou poměrně tenké. Jedná se o článek s tloušťkou 0,20 – 0,3 mm z křemíku s monokrystalickou či polykrystalickou strukturou. Články mají obvykle čtvercový tvar o rozměrech až 200x200 mm. Účinnost přeměny solární energie na energii elektrickou závisí na struktuře materiálu a na způsobu výroby, kterou rozlišujeme na laboratorní a průmyslovou. Výroba článků je značně energeticky náročná. Skoro 85 % panelů je vyrobeno z krystalického křemíku. V Tab. 1.3 je možno vidět přibližné účinnosti článků v závislosti na jejich materiálu. Pro laboratorní výrobu je tato účinnost větší, než pro průmyslovou výrobu. V Tab. 1.4 jsou od firmy Solartec, s.r.o. uvedeny příklady průřezů článků s příslušnými hodnotami napětí, proudu a výkonu. [5, 10]

Tab. 1.3 Přibližná účinnost FV článků z různých materiálů [3]

Křemíkový materiál	Laboratorní výroba	Průmyslová výroba
Monokrystalický	~ 24	14 - 17
Polykrystalický	~ 18	13 - 15
Amorfní	~ 13	5 - 7

Tab. 1.4 Příklady velikostí článků z monokrystalického křemíku od firmy Solartec s.r.o. [10]

Typ řezu	Napětí (V)	Proud (mA)	Výkon (mW)
S SC2-04	0,57	700	300
S SC2-12	0,57	230	100
S SC2-24	0,57	90	40

Pro instalaci FV panelů jsou důležité tyto parametry, které udává výrobce:

- účinnost, která je dána použitou technologií,
- plocha panelů (např. tenkovrstvé panely potřebují dvakrát větší plochu než polykrystalické panely),
- životnost panelů, kterou výrobce udává v procentech s garancí výkonu po 10 letech a 20 - 25 letech,
- elektrické parametry, tj. špičková hodnota výkonu (Wp) a hodnoty svorkového napětí a proudu (pro návrh systému a měniče),
- cena, která je závislá nejen na použitelné technologii, ale i na konstrukci panelu (rám, překlenovací diody, záruky). [8]

1.4.3 Členění fotovoltaických panelů podle technologie

FV panely se vyvíjí prakticky už téměř 50 let. Za tuto dobu byla vyvinuta celá řada typů panelů. Tyto panely lze rozdělit dle použitých materiálů a technologie. Pro přehlednost se rozlišují čtyři generace panelů.

1.4.3.1 Fotovoltaické panely první generace

Tyto panely jsou vyráběné z destiček monokrystalického křemíku s vytvořeným velkoplošným PN přechodem. Vyznačují se dobrou účinností a dlouhodobou stabilitou výkonu. V současnosti je to stále ještě nejpoužívanější a nejrozšířenější typ panelů (až 90 % na trhu). Nevýhodou jsou drahé náklady a náročnost na výrobu čistého křemíku. Panely první generace přeměňují pouze přímé sluneční záření na elektrickou energii. Další typy generací panelů umožňují navíc i přeměnu difúzního záření. [1, 8]

1.4.3.2 Fotovoltaické panely druhé generace

Tento typ panelů se snaží odstranit nevýhody panelů první generace (tj. snaha snížit množství křemíku a snížit cenu výroby použitím tenkovrstvých panelů). Nejpoužívanější jsou polykrystalické, mikrokrytalické či amorfní křemíkové panely. Nevýhodou je zřetelně menší účinnost (v sériové výrobě pod 10 %) a stabilita, než je u panelů první generace, avšak pořizovací cena je nižší. Používají se i jiné materiály než křemík (tzv. směsné polovodiče z materiálu jako měď (Cu), Indium (In), Gallium (Ga), Selen (Se), které jsou označovány jako články CIS struktury). [1, 8]

1.4.3.3 Fotovoltaické panely třetí generace

Do této skupiny patří vícevrstvé a koncentrační články. Jedná se o typ panelů, který k rozdělení nábojů používá jiné metody než PN přechod, dokonce i často jiné materiály než polovodiče. Patří sem například elektrochemické (galvanické) články, polymerní články, také se začínají uplatňovat nanostruktury v podobě uhlíkových „nanotrubiček“ či „nanotyčinek“. Hlavní výhodou této skupiny je možnost ovlivňovat optické a elektrické vlastnosti. V České republice FV panely třetí generace nejsou využity. Nevýhodou je nízká účinnost a malá stabilita vlastností a životností. [1, 8]

1.4.3.4 Fotovoltaické panely čtvrté generace

Tyto panely čtvrté generace jsou složeny z několika vrstev FV článků. Využívají širokou část slunečního spektra. Princip je takový, že každá vrstva využívá záření v určitém rozsahu vlnových délek. Pokud jedna vrstva není schopna využít sluneční záření, propustí toto záření do hlubších vrstev, kde už je využito. Snaha je absorbovat co nejvíce fotonů a využít co nejvíce sluneční energie. [1, 8]

1.4 Členění fotovoltaických článků podle použitých materiálů

1.4.4.1 Články z monokrystalického křemíku

Jedná se o základní a nejstarší typ FV článků. Rozměr krystalů je větší než 10 cm. Vyrábí se pomalým tažením krystalu ve formě tyčí (ingotů) z taveniny čistého křemíku. Tyto tyče mají průměr až 300 mm, které se později rozřežou na tenké plátky, tzv. waffers. Tato výroba je poměrně energeticky i technicky náročná. Tento článek je ideální pro šikmé střechy. Musí být nezastíněny a orientovány na Jih. Monokrystalické články využívají pouze přímé sluneční záření, proto je vhodné pro maximální výkon použít polohovatelné systémy, tzv. trackery. Monokrystalické články dosahují nejvyšší účinnosti. Jak vyplývá z Tab. 1.3, pro průmyslovou výrobu se účinnost pohybuje v rozmezí 14 a 17 %. Současný výkon článku dosahuje hodnoty až 315 Wp. Životnost se uvádí 30 let s garancí po 10 letech 90 % výkonu a po 25 letech s garancí 80 % výkonu. Barva je černá s pravidelnými vzory. [3, 8, 18]



Obr. 1.13 Monokrystalické články [8]

1.4.4.2 Články z polykrystalického křemíku

Krystaly mají velikost 1 – 100 mm. Vlivem většího množství menších krystalů dochází ke snížení účinnosti, která bývá v průmyslové výrobě 13 – 15 %. Ovšem výroba je značně levnější a rychlejší. Tyto články se vyrábějí odléváním čistého křemíku do vhodných forem (ingotů), které se rozřežou na tenké plátky. Tato metoda odlévání je mnohem jednodušší než tažení monokrystalu. V oblasti styku krystalových zrn je větší odpor, proto tyto články mají horší elektrické vlastnosti (elektrický proud i účinnost je nižší). Důvodem tvorby těchto polykrystalických článků je tedy rychlejší výroba, levnější výchozí surovina a lepší využití materiálu, tzn. lze vyrábět články s obdélníkovým či čtvercovým tvarem i ve větších rozměrech. [3, 8]



Obr. 1.14 Polykrystalické články [8]

Využívají se na střešních systémech i na pozemcích. Z důvodu rozměrů krystalů je potřeba mírně větší plochy než u monokrystalických článků, avšak jejich orientace nemusí být na jih, ale i na jiné světové strany (JV, V, Z), protože mají schopnost kromě přímého slunečního záření přeměňovat i nepřímé (difúzní, rozptylové) sluneční záření na elektrickou energii. Hodnota nejvyšších výkonů panelů je kolem 260 Wp. Životnost je stejná jako u monokrystalických článků, tedy 30 let s garancí 90% výkonu po 10 letech a po 25 letech s 80% garancí výkonu. V našich podmínkách jsou používané nejvíce. Barva je tmavomodrá s nepravidelnými tvary. [3, 8]

1.4.4.3 Články z tenkovrstvého křemíku

Tenkovrstvé články jsou ideální pro solární elektrárny, které nejsou omezeny plochou pozemku. Jejich tloušťka je jen několik μm , proto spotřebují mnohem méně materiálu, a jsou tedy levnější než monokrystalický a polykrystalický články. Nevýhodou je potřeba přibližně 2,5krát větší plochy oproti předchozím typům pro získání stejného výkonu a také menší stabilita, kdy dochází k postupnému zhoršování vlastností. Tenkovrstvé články se vyrábějí napařováním tenké křemíkové vrstvy ve vodíkové atmosféře na skleněný, nerezový či plastový podklad. Těmto tenkovrstvým článkům říkáme také amorfní články, jelikož nanášená tenká vrstva křemíku má amorfní strukturu, tj. nemá pravidelnou krystalickou strukturu a obsahuje jisté procento vodíku. [1, 8]



Obr. 1.15 Amorfní články [8]

Tyto články jsou velmi tenké a ohebné, proto je můžeme použít jako krycí fólie na střechy nebo našít na oblečení či batoh. Dokážou absorbovat širší spektrum slunečního záření, tudíž využívají ve větší míře difúzní záření. Ideální je tedy instalace při špatné orientaci střechy a v lokalitách s častou oblačností. Účinnost je 5 – 7 % pro průmyslovou výrobu, avšak vícevrstvou strukturou můžeme dosáhnout až 13 %. Životnost je 25 let s garancí 90% výkonu po 10 letech a 80% výkonu po 15 letech. Vlivem nepravidelné struktury amorfního křemíku dochází k poruchám. V místech s nedostatkem sousedních vazebních atomů v křemíku vznikají „visící“ vazby, a tím pádem dochází k rekombinaci náboje. Následkem je snížení proudu a účinnosti. Částečně je to vyřešeno navázáním vodíku na tyto volné vazby. Ovšem zčásti tento vodík způsobuje nestabilitu. Dnes jsou na trhu tyto články nejlevnější. Předpokladem je vývoj těchto tenkovrstvých článků z amorfního křemíku, který bude směřovat k dosažení vyšší účinnosti a nižší ceny. [1, 8]

1.4.4.4 Výzkum nových technologií článků

Jedná se o články CIS (CuInSe_2), články z teluridu kadmnatého (CdTe), z galiumarsenidu (GaAs), vícepřechodové struktury (multijunction) a organické FV články. Články CIS jsou tenkovrstvé články složené ze selenidu mědi a india. Jejich základní vlastnost je vysoká absorpce záření v tenké vrstvě (1 μm tloušťky pohltí 99 % slunečního záření). Dosahují vysoké účinnosti (v laboratořích až 18 %). Články z teluridu kadmnatého mají ideální vzdálenost 1,44 eV vodivostního a valenčního pásu. Není ovšem za běžných podmínek lepší než křemík. Články z galiumarsenidu jsou méně citlivější na vyšší teploty než křemíkové články, velmi odolné proti škodě vlivem radioaktivního

či kosmického záření a mají schopnost absorbovat téměř veškeré dopadající záření. Nevýhodou je, že galium je vzácnější než zlato a arsen je prvek, který je velmi jedovatý. [1, 3]

Vícevrstvé struktury využívají mnohem lépe sluneční záření. Každá vrstva je ideální pro určitou část slunečního spektra. Zpravidla je konstrukce taková, že vrchní vrstva zachycuje fotony s větší energií a propouští fotony s nižší energií, které zachytí nižší vrstva. Materiálem jsou sloučeniny prvků III. a V. skupiny (např. InP, GaSb, GaAs). Dnes jsou dostupné třívrstvé struktury s účinností přibližně 41 %. Cena těchto struktur je podstatně dražší než křemíkové články. [1, 3]

Vývoj organických článků je zaměřen na nízké pořizovací náklady, pružnost a ohebnost článků. Pro komerční účely je nejznámější americká firma Konarka, která vyrábí tyto články dosahující účinnosti 8 % vytištěním či potažením na pružné podklady. Články vyrábějí energii z přímého i difúzního záření. Můžou být zabudovány do oken, stěn, přístřešků, na batohy apod. Materiálem těchto článků jsou elektricky vodivé polymery. Jedná se o obdobný princip jako u FV článků s PN přechodem. Dochází k absorpci fotonu, a tím ke vzniku páru elektron-díra. Nevýhodou jsou problémy s účinností, jelikož pohyb elektronů je v organických článcích horší než u anorganických polovodičů, což přispívá k rekombinaci nábojů. [3]

1.4.5 Aplikace fotovoltaických systémů

Kromě FV panelu je zapotřebí dalších technických prvků. Jejich množství a sestava závisí na druhu aplikace. Mezi tyto prvky patří akumulátorové baterie, regulátory nabíjení, invertory(měniče), transformátory, odpojovače zátěže, pojistná zařízení, měřicí zařízení a záložní zdroje.

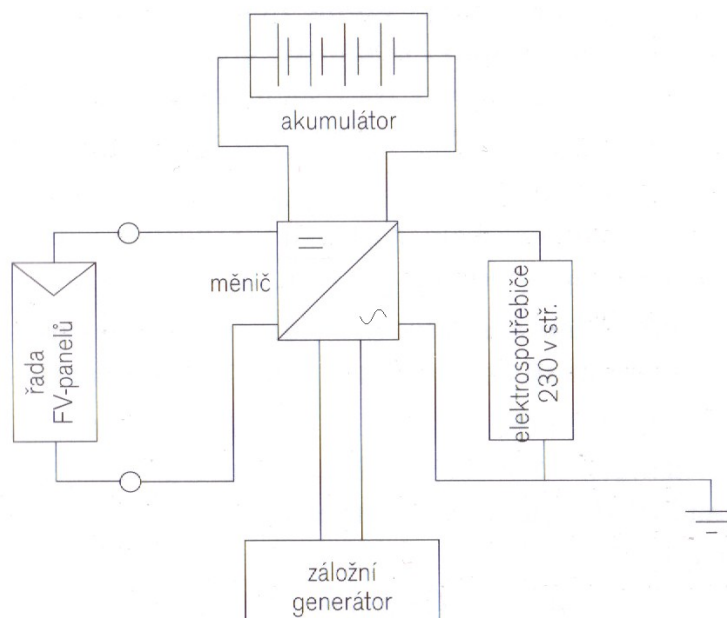
Kromě těchto komponentů může FV systém ještě obsahovat koncentrátory a polohovatelné systémy (trackery). Tracker automaticky otáčí a naklání panel ke slunci, čímž zajistí trvalý kolmý dopad paprsků. Tyto trackery sledují slunce pomocí dvou čidel. Pokud na obě čidla dopadá stejné sluneční záření, pak je jejich signál v rovnováze. Pokud je záření různé, dojde k pohybu těchto systému do takové polohy, kde bude signál obou čidel opět v rovnováze. U častějších malých systémů se provádí automatické natáčení kolem jedné osy. Tento princip používají systémy Traxle (více v [22]). Pohonem je stejnosměrný motor s permanentním magnetem zabudovaným v hliníkové trubce, která vytváří osu a otáčí celou konstrukcí. Tento motor je poháněn elektrickým proudem získávaným z malého fotovoltaického modulu umístěném kolmo ke slunci na trubce u spodního úchytného bodu. Tento malý modul má na obou stranách FV články. Traxle se natáčí tehdy, pokud oba tyto články modulu nejsou osvětleny stejně. Motor se začne otáčet, až tyto články budou osvětleny rovnoměrně, a tím tedy budou paprsky dopadat kolmo na hlavní panel. U velkých systémů je automatické natáčení panelů umožněno pomocí dvou os řízených počítačem. [1, 5]

Koncentrátory jsou optická zařízení, která využívá sluneční zařízení z větší plochy a soustředí je na menší plochu FV článku. Dochází ke zvýšení jeho výkonu. Cena koncentrátorů je mnohem nižší než cena solárního modulu. Koncentrátory bývají zpravidla zrcadlové či čočkové. V praxi se s nimi setkáváme velmi málo, jelikož jejich použití vede k celé řadě nevýhod. Základní nevýhodou je malé využití difúzního záření a nutnost natáčení za sluncem. Dále mají koncentrátory vždy větší výšku i tloušťku, dochází k optickým ztrátám, ke zahřívání panelů pod koncentrovaným zářením, a tím ke ztrátě účinnosti i k jejich zničení. V poslední řadě mají koncentrátory omezenou životnost. Materiálem pro zrcadla je hliníkový plech, který je pokrytý ochrannou vrstvou. Pro zvýšení životnosti se používají

vakuově napařené vrstvičky hliníku na plastové fólii či nerezová ocel. Nejvhodnější je použití tenkých skleněných postříbřených zrcadel připevněných na ocelovém plechu, která jsou ohebná. [1]

Tyto FV systémy v praxi rozdělujeme podle aplikace na tři základní provozy: autonomní (označované také jako tzv. ostrovní), hybridní a síťový.

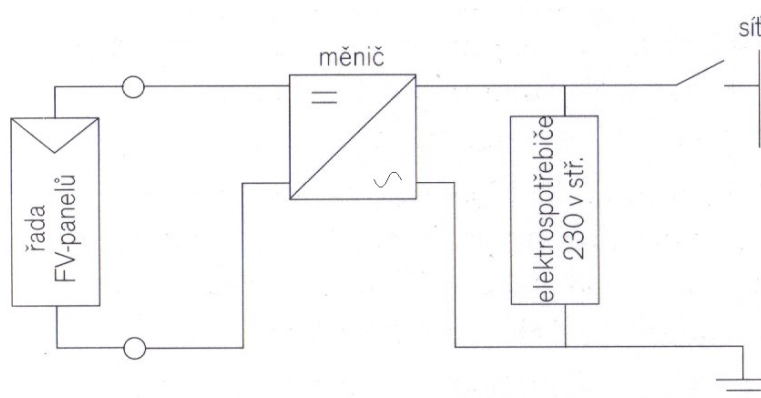
Autonomní provoz je nezávislý na rozvodné síti (grid-off). Tento provoz je vhodný pro oblasti, kde není dostupná veřejná elektrická síť. Výkony ostrovních systémů se pohybují v rozmezí 1 Wp až 10 kWp špičkového výkonu. Je nutno, aby tyto systémy obsahovaly akumulátory pro zálohu energie, která je potřeba v době bez slunečního svitu a regulátor nabíjení pro optimální dobíjení a vybíjení. K tomuto provozu lze připojit jak stejnosměrné spotřebiče s napětím 12, 24, případně 48 V DC, tak i běžné síťové spotřebiče s napětím 230 V AC o frekvenci 50 Hz přes měnič napětí. Je nutno uvažovat minimální ztráty energie a použití úsporných spotřebičů. Pro osvětlení je nejlepší volba lineární zářivky s elektronickým předřadníkem. Pro bodové osvětlení poslouží 12 či 24V halogenové žárovky s integrovaným reflektorem. Kromě střídavého rozvodu je vhodné zavést i stejnosměrný rozvod přímo z akumulační baterie, ze kterého lze napájet osvětlení, notebooky, oběhové čerpadlo pro kotel, televizor, ústřední topení, Hi-Fi zařízení apod. [3, 5, 6]



Obr. 1.16 Autonomní provoz FV systému [3]

Hybridní provoz se používá pro celoroční provoz s větším vytížením opět nezávisle na rozvodné síti. Kromě FV panelů může být dalším zdrojem elektrického proudu větrná elektrárna, malá vodní elektrárna nebo nejčastěji elektrocentrála (motorgenerátor), která je poháněna benzínem či kapalným propanem. Více zdrojů je potřeba tehdy, pokud FV panely či naakumulovaná energie v bateriích nestačí. [3, 5]

Síťové systémy (grid-on) nepotřebují akumulátor, jelikož vyrobená elektrická energie je dodávána přes měnič do elektrické sítě. Vysokonapěťové systémy používají transformátory, výkonové spínače a ochranné prvky. Špičkové výkony dosahují hodnot řádově kWp až MWp. Systémy pracují zcela automaticky pomocí mikroprocesorového řízení měniče. [5, 6]



Obr. 1.17 Síťový provoz solárního FV systému [3]

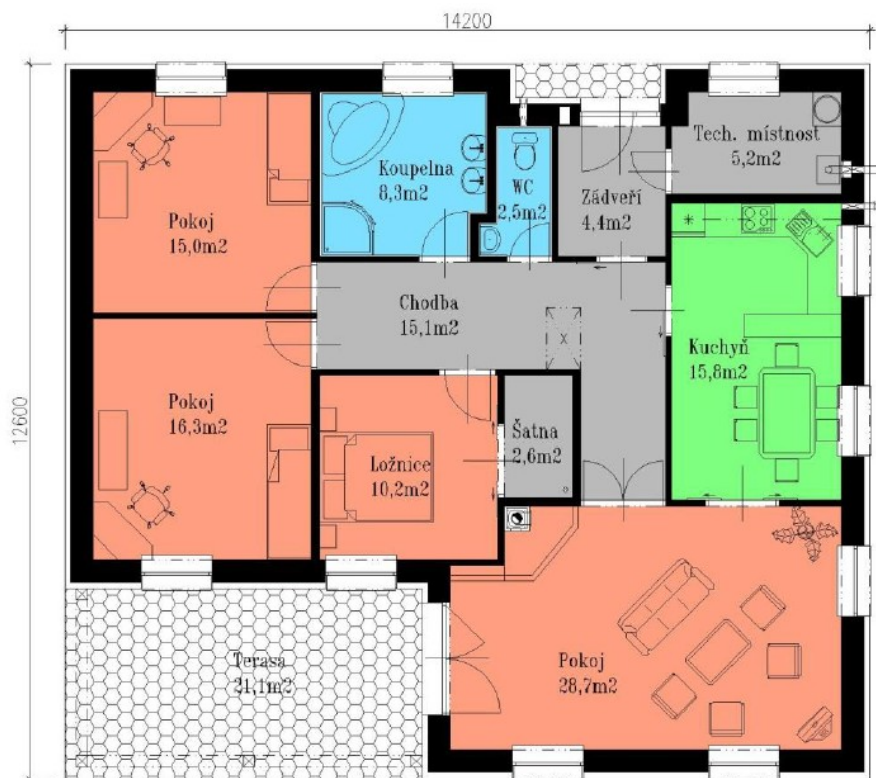
Účel síťového provozu ze strany výrobce je investice, která poskytuje dlouhodobý zisk. Ze strany státu jde o snahu zvýšit podíl obnovitelných zdrojů energie na celkové energetické bilanci ČR, a tím ke snižování skleníkových plynů. Jedná se ovšem o nákladnou technologii. Aby vůbec někdo investoval své peníze a instaloval tento systém, je potřeba podpory ve formě dotací. Jedná se o dotace na pořízení a dotace výkupní ceny. V České republice lze získat od Státního fondu životního prostředí investiční podporu. [3]

2 Návrh solární a fotovoltaické elektrárny pro rodinný dům v autonomním provozu

Při návrhu fotovoltaické a solární elektrárny v ostrovním režimu je třeba uvažovat s velkou úsporou energie. Uvažuje se s těmito hlavními zásadami snížení spotřeby energie:

- volit spotřebiče s co nejvyšší účinností,
- volit spotřebiče s co nejmenší spotřebou v pohotovostním režimu (Stand-by),
- používat úsporné osvětlení,
- nahradit elektrické zdroje tepla za jiné zdroje tepla,
- navrhnout spotřebování elektrické energie v době, kdy je její dostatek,
- zateplení obvodového pláště, které sníží 15 až 30 % spotřeby,
- výměna starých oken za nová okna, která propustí i čtyřikrát méně tepla,
- správná regulace vytápění programovatelným termostatem, kdy úspora činí až 15 %. [3]

Pro ostrovní provoz je ekonomicky nevhodné použít tepelné čerpadlo či elektrický kotel pro vytápění, proto v tomto návrhu bude uvažováno vytápění pomocí kotle na tuhá paliva se záložním plynovým kotlem. Dále v kuchyni místo elektrického sporáku bude uvažováno s plynovým sporákem. Kvůli vysoké spotřebě rychlovarné konvice zde tento spotřebič není uvažován. Taktéž elektrický bojler zde není navrhnout. Ohřev teplé užitkové vody obstarávají solární kolektory. Jako záložní zdroj pro výrobu elektrické energie z FV panelů poslouží elektrocentrála. Úsporné osvětlení v celém rodinném domě tvoří LED žárovky a zářivky.



Obr. 2.1 Půdorys navrhovaného rodinného domu [23]

Základní údaje pro novostavbu jednogeneračního rodinného domu se 4člennou rodinou:

- půdorysný rozměr: 14,2 x 12,6 m,
- obestavěný prostor: 837,4 m³,
- užitná plocha: 145 m²,
- uvažovaná lokalita: Česká republika, severní Morava, okres Šumperk, obec Palonín,
- zeměpisná poloha: 49°43'54'' severní šířky, 16°57'11'' východní délky, nadmořská výška: 266 m n. m.

2.1 Výpočet fotovoltaické elektrárny

V tomto návrhu budou respektovány tyto části FV systému:

- FV panely,
- MPPT měnič (Maximum Power Point Tracker - sledování maximálního výkonového bodu),
- akumulátor,
- měnič napětí,
- propojovací vodiče a konektory,
- záložní zdroj – elektrocentrála.

2.1.1 Určení spotřeby elektrické energie všech spotřebičů v domácnosti

Prvním krokem pro návrh elektrárny je výpočet spotřeby spotřebičů. Celková spotřeba se určí jako součet všech příkonů jednotlivých spotřebičů vynásobených průměrnou dobou jejich denního provozu:

$$E = P_1 \cdot t_1 + P_2 \cdot t_2 + \dots + P_n \cdot t_n \quad (\text{W} \cdot \text{h}) \quad (\text{r. 2.1})$$

Hodnoty příkonů jsou uvedeny na štítcích spotřebičů. Pro zdroje světla je nejlepší volbou LED žárovky a zářivky, jejichž životnost je 50x větší než u klasických žárovek s wolframovým vláknem. Spotřeba LED žárovek a zářivek je ze všech dostupných světelných zdrojů nejmenší. Například 75W klasická žárovka má příkon 75 W a světelný tok přibližně 930 lm. Úsporná zářivka se světelným tokem 1000 lm má příkon asi 20 W, zatímco LED zářivka se světelným tokem 1000 lm má příkon pouze cca 10 W. Z těchto hodnot tedy vyplývá, že LED zářivky mají 8krát menší spotřebu než klasická žárovka a 2krát menší spotřebu než úsporná zářivka. Tyto zářivky a žárovky mají celou řadu výhod (více v [24]). Při návrhu umělého osvětlení v obytných prostorách je třeba dbát na doporučená hygienická minima, která jsou uvedena v českých technických normách. Při nedostatku osvětlení místností dochází k únavě zraku, k depresím, k poruše koncentrace či dokonce k deformaci páteře. Při návrhu osvětlení se respektuje doba pobytu osoby v místnosti a její specifikace vykonávané práce. [11]

V kuchyni jsou velké nároky na osvětlení. Hlavní svítidlo je umístěno nad jídelním stolem a nad pracovní deskou. Požadavek na intenzitu osvětlení pro kuchyňské práce je 300 lx. Obývací pokoj neplní pracovní funkci, avšak jde o navození příjemné atmosféry. Stropní svítidla jsou umístěna uprostřed místnosti. Doporučené osvětlení pro obývací pokoj a dětské pokoje činí 200 lx. Tyto pokoje jsou doplněny stolními lampami, jelikož hygienické doporučení pro čtení, psaní a ruční práce je

300 lx. V ložnici, na chodbě, v zádveří, v koupelně a na WC je hodnota požadované intenzity 150 lx. V koupelnách a na WC je třeba dodržovat umístění svítidel podle instalačních zón. Stupeň krytí pro všechny svítidla je zde IP44. Ložnice je opět doplněna stolní lampou pro čtení. Venkovní osvětlení je nástěnné a splňuje stupeň krytí IP65. [11]

Tab. 2.1 Celková průměrná denní spotřeba el. energie uvažovaného rodinného domu

Spotřebiče	Příkon (W)	Průměrná doba denního provozu (h)	Počet (-)	Průměrná denní spotřeba el. energie (W·h)
Místnost - Pokoj 1				
Notebook	65	6	1	390
Svítidlo	11,5	4	6	276
Stolní lampa LED	7,5	1	1	7,5
Místnost - Pokoj 2				
Hi-Fi systém	20	2	1	40
Svítidlo LED	11,5	4	6	276
Stolní lampa LED	7,5	1	1	7,5
Místnost - Ložnice				
Svítidlo LED	12	1	4	48
Stolní lampa LED	7,5	1	2	15
Místnost - Šatna				
Parní žehlička	800	3	1	342,857
Vysavač	1250	1	1	178,571
Svítidlo LED	12	0,5	1	6
Místnost - Chodba				
Svítidlo LED	12	3	5	180
Místnost - Koupelna				
Pračka A+++	780	4	1	445,714
Svítidlo LED	11,5	3	4	138
Místnost - WC				
Svítidlo LED	12	1	1	12
Místnost - Zádveří				
Svítidlo LED	26	1	1	26
Místnost - Tech. Místnost				
Čerpadlo plynového kotle	67	6	1	402
Svítidlo LED	12	1	2	24
Místnost - Kuchyň				
Mikrovlnná trouba	1500	0,25	1	375
Kombinovaná Lednička	0,38 kWh/den		1	380
Svítidlo LED	11,5	3	4	138
Svítidlo LED	48	5	1	240

Místnost - Obývací pokoj				
LED televize A+	0,15 (Stand-by)	16	1	2,4
	56	8		448
Satelitní přijímač	9 (Stand-by)	16	1	144
	24	8		192
Svítilno LED	48	4	3	576
Stolní lampa LED	7,5	1	1	7,5
Místnost - Venkovní prostory				
Ponorné vodní čerpadlo	300	4	1	1200
Svítilno LED	14	1	4	56
Celková denní spotřeba spotřebičů el. energie E (W·h)				6 574,042

2.1.2 Určení ztrát jednotlivých částí fotovoltaické elektrárny v autonomním provozu

Výpočtem byla stanovena denní spotřeba elektrické energie 6574,042 W·h. Spotřeba žehličky, pračky a vysavače je přepočtena na průměrné použití v týdnu. Jelikož v každém elektrickém zařízení vznikají ztráty, které se proměňují v teplo, je potřeba pro návrh FV panelu zvýšit tuto denní spotřebu o ztráty vzniklé v každé části této elektrárny. Ztráty vznikají v akumulátoru, v měniči napětí, v solárním regulátoru a ve vodičích a v konektorech. Ztráty v akumulátoru činí při nabíjení 10 %. V měniči napětí jsou ztráty závislé na jeho typu, obvykle to bývá 10 – 15 %. Ve vodičích, konektorech a svorkách jsou 2 – 4% ztráty. Solární regulátor ve fotovoltaické elektrárně (dále jen „FV elektrárně“) slouží jako stabilizátor napětí a automaticky nabíjí akumulátor. Pro ostrovní režim je účinnějším typem než solární regulátor MPPT měnič. [11]

MPPT měnič obsahuje vysokofrekvenční DC/DC měnič. Pomocí tohoto měniče lze panely sériově, paralelně či sérioparalelně kombinovat, a to v rozsahu až 150 V. Má nízké ztráty, které se udržují na nízké konstantní hladině v průběhu celého roku, takže při různé intenzitě slunečního záření jsou tyto ztráty velmi vyrovnané. Solární regulátor má proměnlivé ztráty. Ty jsou závislé na výkonu FV panelů, který ovšem není konstantní. Průměrná účinnost solárního regulátoru je přibližně 80 %. U MPPT měniče dosahuje účinnost až 95 %. Při tomto návrhu se uvažuje, že spotřebovaná elektrická energie je napájena z jedné poloviny z měniče napětí a z druhé poloviny z akumulátoru. Výsledkem jsou tedy poloviční ztráty jak v měniči napětí, tak i v akumulátoru, které činí 5 %. [11]

Spotřeba elektrické energie včetně ztrát se vypočítá podle vztahu:

$$E_{\text{celk}} = \frac{E}{\eta_m \cdot \eta_a \cdot \eta_k \cdot \eta_{\text{MPPT}}} \quad (\text{W} \cdot \text{h}) \quad (\text{r. 2.2})$$

kde E je celková denní spotřebovaná energie beze ztrát (W·h)
 η_m účinnost měniče napětí s polovičními ztrátami (0,95)
 η_a účinnost při akumulaci v akumulátoru s polovičními ztrátami (0,95)
 η_k účinnost přenosu energie v kabelech, svorkách a konektorech (při tomto návrhu se počítá se ztrátami 3 %, potom účinnost $\eta_k = 0,97$)
 η_{MPPT} účinnost MPPT měniče (0,95)

$$E_{\text{celk}} = \frac{6574042}{0,95 \cdot 0,95 \cdot 0,97 \cdot 0,95} = 7904,782 \text{ W} \cdot \text{h}$$

Celková spotřeba včetně ztrát ve FV systému činí 7904,782 W·h. Při dopadu slunečního záření vznikají vnitřní ztráty výkonu panelu vlivem jeho ohřevu a úhlové odrazivosti. Výkon panelů klesá s jejich rostoucí teplotou. Tento pokles vyjadřuje teplotní koeficient výkonu, který činí 0,47 % na 1 °C. Tyto ztráty vlivem teplotního koeficientu dosahují nejvyšších hodnot v letním období, kdy se panely ohřívají na vysoké teploty. Ztráty vzniklé úhlovou odrazivostí jsou způsobeny odrazem slunečních paprsků od skleněného povrchu panelu. Jejich velikost tvoří přibližně 3 % z celkového výkonu. Tyto hodnoty ztrát jsou započítány ve výsledcích v kapitole 2.1.4 pomocí webových stránek Evropské komise z [12]. Vlivem povětrnostních vlivů dochází také k znečištění panelů, což má za následek snížení výkonu. FV panely by se proto měli pravidelně očišťovat. Příkladem je napadený sněh. V návrhu se sice jedná o nakloněné panely, které mají velmi hladký povrch a vlivem slunečního záření se zahřívají na teplotu vyšší než má vzduch či sněh, avšak tento celý proces může trvat delší dobu, kdy už je potřeba vyrábět energii, proto je potřeba zavčas panely očistit. [11]

2.1.3 Volba stejnosměrného napětí fotovoltaické elektrárny

Po určení celkové vyrobené energie je nutno zvolit stejnosměrné napětí systému. Toto výstupní napětí FV elektrárny závisí na uspořádání zapojení jednotlivých panelů. Sériovou kombinací se zvyšuje výstupní napětí a zachovává výstupní proud. U paralelní kombinace je tomu přesně naopak, proto se používá sériově-paralelní pospojování, kterým je možno získat požadované výstupní napětí a proud. Výběr napětí závisí na velikosti aplikace. Pro malé systémy se používá nejčastěji 12 V. Další možností je napětí 24 V či 48 V. V tomto návrhu se respektuje rodinný dům pro 4 osoby, který je využíván celoročně, proto je zvoleno napětí 24 V. Se stoupajícím výstupním napětím panelů klesá výstupní proud, čímž taktéž klesá průřez přírodních vodičů v celém systému. Navíc klesají s kvadrátem proudu i ztráty v rozvodech a MPPT měnič pracuje efektivněji. [11, 9]

2.1.4 Určení průměrného slunečního výkonu fotovoltaické elektrárny

Základem pro získání maximálního výkonu je orientace panelu. Ideální je náklon panelu přímo na jih. V našich podmínkách je optimální sklon panelu 35°. Snaha tedy je o dopad slunečního záření kolmo na panel po co nejdelší dobu, což můžou zajistit již zmíněné trackery. Ovšem je důležité si uvědomit, že se jedná o spotřebiče s vlastní spotřebou elektrické energie, proto nebudou v tomto návrhu uvažovány. Průměrný sluneční výkon lze zjistit z webových stránek Evropské komise z [12].

V této aplikaci PVGIS z [12] je nutno zadat vstupní údaje:

- poloha: 49°43'54'' severní šířky, 16°57'11'' východní délky,
- montážní poloha: Pevný systém umístěný na budově, sklon modulu 34°, orientace -2° Jih,
- použitá databáze pro sluneční záření: PVGIS-CMSAF,
- jmenovitý výkon FV systému: 0,1 kWp (krystalický křemík),
- odhadované ztráty v důsledku teploty: 11,8 % (s použitím místní okolní teploty),
- odhadované ztráty v důsledku úhlové odrazivosti: 2,9 %,
- předpokládaná účinnost FV panelu: 14,4 %.

Výsledkem jsou tabulky a grafická zobrazení, která obsahují data o průměrné denní a měsíční výrobě elektrické energie včetně dat o průměrné teplotě, optimálním sklonu modulu v jednotlivých měsících a sluneční intenzitě záření dopadající na FV panel.

Tab. 2.2 Hodnoty vygenerované z [12]

Měsíc	E_D	E_M	H_D	H_M	T_D	I_{OPT}
	(kW·h)	(kW·h)	(kW·h·m ⁻²)	(kW·h·m ⁻²)	(°C)	(°)
leden	0,11	3,41	1,15	35,6	-1,5	60
únor	0,19	5,3	2,04	57,1	1,2	56
březen	0,33	10,3	3,68	114	4,3	47
duben	0,45	13,5	5,26	158	10,4	35
květen	0,44	13,7	5,35	166	15,7	21
červen	0,45	13,5	5,48	164	18,3	14
červenec	0,43	13,2	5,26	163	20,1	17
srpen	0,42	13	5,13	159	20,1	29
září	0,34	10,2	3,99	120	15,6	42
říjen	0,22	6,86	2,51	77,8	11,1	54
listopad	0,13	3,77	1,36	40,7	4,9	61
prosinec	0,10	3,15	1,08	33,4	-0,4	58
Roční průměr	0,3	9,16	3,53	107	10	34
Celkem za rok		110		1290		

2.1.5 Určení potřebné velikosti výkonu fotovoltaických panelů a elektrocentrály

Z Tab. 2.2 vyplývá, že průměrná denní výroba elektřiny za rok z FV panelu o výkonu 100 Wp činí 300 W·h. V období od března do září je výroba nadprůměrná a v ostatních měsících, tedy v říjnu, listopadu, prosinci, lednu a únoru je produkce podprůměrná. Nejvyšší produkci lze dosáhnout v měsíci květen a to 13,7 kW·h, naopak nejnižší výroba nastává v měsíci prosinec, kdy průměrná měsíční výroba elektřiny z daného panelu činí 3,15 kW·h, což je více než 4krát méně než v nejproduktivnějším měsíci květen. Potřebný výkon panelů v ostrovním režimu se stanovuje podle nejnižší produkce v roce, aby byla vždy pokryta celá vypočítaná spotřeba elektřiny. Avšak v nadprůměrném období produkce by byla vyrobená elektřina přebytečná. Pokud by se panely dimenzovaly podle výroby v nejslabším měsíci prosinec, pak v měsíci květen by byl výkon panelů 4krát větší, a tím pádem by byly i 4krát větší náklady za FV panely včetně výkonnějších měničů a akumulátorů. Tato volba by tedy byla značně neekonomická. Řešením tohoto problému je použití dalšího zdroje elektrické energie v hybridním provozu. V tomto návrhu se bude jednat o elektrocentrálu, která bude použita pouze v kritickém období, což je považováno za zimní období od listopadu do února. Elektrocentrála bude dodávat 20 % z celkové potřeby energie. Dalším důvodem použití elektrocentrály je fakt, že bez záložního zdroje by mohlo dojít v dlouhodobých obdobích bez slunečního svitu ke ztrátě el. energie v domácnosti. S využitím elektrocentrály tento kolaps nastat nemůže. [11]

Prvním krokem při návrhu elektrárny v zimním období je vypočítat průměrnou denní výrobu el. energie FV panelu o výkonu 100 Wp za toto celé období podle vztahu:

$$E_d = \frac{\sum_{i=1}^n E_{di}}{n} \quad (\text{kW} \cdot \text{h}) \quad (\text{r. 2.3})$$

kde E_{di} je průměrná denní výroba el. energie FV panelu o výkonu 100 Wp v jednotlivých měsících zimního období, tedy od listopadu do února ($\text{kW} \cdot \text{h}$)
 n počet měsíců v uvažovaném zimním období (-)

$$E_d = \frac{0,13 + 0,10 + 0,11 + 0,19}{4} = 0,133 \text{ kW} \cdot \text{h}$$

Průměrně tedy v zimním období vyprodukuje panel o výkonu 100 Wp energii 133 W·h. Dalším krokem je přepočet vygenerované energie na 1 Wp výkonu panelu podle vztahu:

$$E_{d1} = \frac{E_d}{P_p} \quad (\text{W} \cdot \text{h}) \quad (\text{r. 2.4})$$

kde P_p je určený výkon FV panelu (Wp)

$$E_{d1} = \frac{133}{100} = 1,33 \text{ W} \cdot \text{h}$$

Z výsledku je tedy patrné, že z 1 Wp výkonu panelu lze získat 1,33 W·h el. energie pro zimní období. Nyní je potřeba vypočítat potřebnou el. energii z elektrocentrály. Ve výpočtu se použijí pouze hodnoty pro celkovou denní potřebu spotřebičů el. energie, ztráty při akumulaci energie v akumulátoru a ztráty v měniči napětí.

Výpočet spotřeby el. energie, kterou je potřeba vyrobit v zimním období z elektrocentrály, která vyrobí 20 % z celkové potřeby energie:

$$E_{\text{cent}} = E \cdot 0,2 \quad (\text{W} \cdot \text{h}) \quad (\text{r. 2.5})$$

$$E_{\text{cent}} = 6574,042 \cdot 0,2 = 1314,808 \text{ W} \cdot \text{h}$$

Elektrocentrála tedy vyprodukuje denně v tomto období 1314,808 W·h el. energie. Tato celá vyrobená energie se bude ukládat do akumulátorů, proto se uvažují ztráty při akumulaci 10 %. Další ztráty představují ztráty v měniči napětí, které činí 10 %.

Potřebná vyrobená el. energie z elektrocentrály včetně ztrát při akumulaci a v měniči napětí:

$$E_{\text{cent}}' = \frac{E_{\text{cent}}}{\eta_a' \cdot \eta_m'} \quad (\text{W} \cdot \text{h}) \quad (\text{r. 2.6})$$

kde η_a' je účinnost při akumulaci v akumulátoru (0,9)
 η_m' účinnost měniče napětí (0,9)

$$E_{\text{cent}}' = \frac{1314,808}{0,9 \cdot 0,9} = 1623,220 \text{ W} \cdot \text{h}$$

Celková el. energie včetně ztrát, kterou musí vyprodukovat elektrocentrála, je 1623,220 W·h. Tuto hodnotu musí dodávat každý den v období od listopadu do února. Posledním krokem při návrhu elektrárny v zimním období je určit výkon FV panelů pro zajištění zbylých 80 % energie.

Výpočet spotřeby el. energie včetně ztrát v celém systému, kterou je potřeba vyrobit v zimním období FV elektrárnou, která vyrobí 80 % z celkové potřeby energie:

$$E_{fv} = E_{celk} \cdot 0,8 \quad (\text{W} \cdot \text{h}) \quad (\text{r. 2.7})$$

$$E_{fv} = 7904,782 \cdot 0,8 = 6323,826 \text{ W} \cdot \text{h}$$

Potřebný výkon panelů pro denní spotřebu el. energie 6323,826 W·h:

$$P_{fv} = \frac{E_{fv}}{E_{d1}} \quad (\text{Wp}) \quad (\text{r. 2.8})$$

$$P_{fv} = \frac{6323,826}{1,33} = 4754,756 \text{ Wp}$$

Tímto se vypočítal výkon panelů v období listopad-únor k zajištění 80 % z celkové denní spotřeby, který má hodnotu 4754,756 Wp. Elektrocentrála pro zajištění zbylých 20 % z celkové denní spotřeby v období listopad-únor má stanovenou hodnotu výpočtem průměrné denní výroby el. energie 1623,220 W·h. Nyní zbývá vypočítat výkon panelů při plného FV provozu pro období březen-říjen. Zde se bude výpočet skládat ze dvou částí. V první části se stanoví výkon panelů pro nejslabší měsíc v tomto období a v druhé části se vypočte denní produkce el. energie pro nejslabší měsíc v období březen-říjen při použití panelů o výkonu 4754,756 Wp ze zimního období.

V období březen-říjen bude tedy pracovat FV elektrárna v plném provozu bez elektrocentrály. Z Tab. 2.2 vyplývá, že v tomto období produkuje panel o výkonu 100 Wp nejméně průměrnou el. energii v měsíci říjen, a to 220 W·h denně.

Přepočet vygenerované el. energie na 1 Wp výkonu panelu podle vztahu:

$$E_{d1}' = \frac{E_d'}{P_p} \quad (\text{W} \cdot \text{h}) \quad (\text{r. 2.9})$$

kde E_d' je průměrná denní výroba el. energie FV panelů o výkonu 100 Wp v nejméně produktivním měsíci (říjen) v období březen-říjen (W·h)

$$E_{d1}' = \frac{220}{100} = 2,20 \text{ W} \cdot \text{h}$$

Z výsledku je tedy patrné, že z 1 Wp výkonu panelů v říjnu lze získat 2,20 W·h el. energie. Pro konečnou hodnotu potřebného výkonu panelů pro množství vyrobené elektrické energie z FV panelů včetně ztrát platí vztah:

$$P_{fv}' = \frac{E_{celk}}{E_{d1}'} \quad (\text{Wp}) \quad (\text{r. 2.10})$$

$$P_{fv}' = \frac{7904,782}{2,20} = 3593,083 \text{ Wp}$$

Pro nejméně produktivní měsíc říjen v období březen-říjen by byla potřeba 3593,083 Wp výkonu FV panelů, aby byla zajištěna celková denní spotřeba el. energie, která včetně ztrát činí 7904,782 W·h. V období listopad-únor byl navrhnout výkon panelů k zajištění 80 % z celkové denní spotřeby, který má hodnotu 4754,756 Wp. Z těchto hodnot vyplývá, že volba výkonů panelů 3593,083 Wp pro celoroční využívání by bylo nedostačující v zimním období, kdy je potřeba výkon panelů 4754,756 Wp, proto je vhodné dimenzovat celoročně výkon panelů na hodnotu vyšší.

Jako poslední bod zbývá určit vyrobenou energii v období březen-říjen pro nejméně produktivní měsíc (říjen) za použití vypočteného průměrného výkonu panelů z období listopad-únor.

Denní produkce el. energie pro měsíc říjen v období březen-říjen při použití panelů o výkonu 4754,756 Wp ze zimního období:

$$E_{d2} = P_{fv} \cdot E_{d1}' \quad (\text{W} \cdot \text{h}) \quad (\text{r. 2.11})$$

$$E_{d2} = 4754,756 \cdot 2,2 = 10460463 \text{ W} \cdot \text{h}$$

Denní produkce el. energie pro měsíc říjen po odečtení ztrát, které činí 17 %:

$$E_{d2}' = E_{d2} \cdot \eta_s \quad (\text{W} \cdot \text{h}) \quad (\text{r. 2.12})$$

kde η_s je účinnost celého FV systému respektující ztráty v akumulátoru, v měniči napětí, ve vodičích a v konektorech (0,83)

$$E_{d2}' = 10460463 \cdot 0,83 = 8682184 \text{ W} \cdot \text{h}$$

Panely o výkonu 4754,756 Wp vygenerují v říjnu čistou el. energii 8682,184 W·h, přičemž celková denní spotřeba činí 6574,042 W·h. Tento navrhovaný výkon panelů je tedy vyhovující. Pro zvýšení výroby elektřiny z daného systému by bylo vhodné zvýšit sklon panelu na 49°. Došlo by ke zvýšení výroby v kritickém období listopad-únor a zároveň ke snížení množství energie v nadprůměrném období březen-říjen, což ovšem není podstatné, jelikož FV elektrárna navržená pro celoroční provoz produkuje v tomto nadprůměrném období přebytek energie. V tomto návrhu je elektrárna umístěna na střeše rodinného domu, kde není možno dosáhnout sklonu 49°. [11]

2.1.6 Návrh kapacity akumulátorů pro fotovoltaický ostrovní systém

Nejlevnějším typem akumulátorů pro FV ostrovní systémy jsou olověné akumulátory. Elektrody jsou z olova a při vybíjení uvolňují elektrony. Autobaterie jsou nevhodné pro ostrovní FV systémy. Jejich reálná životnost při aplikaci v ostrovním systému o kapacitě 100 A·h je průměrně 2 roky a průměrná využitelná kapacita je pouhých 50 %. Navíc tyto akumulátory nejsou určeny na hluboké vybíjení. Jsou konstruovány pro velký proud za krátkou dobu. [11]

Mezi olověné akumulátory, které se využívají pro FV ostrovní systémy, patří:

- olověné akumulátory se zaplavenými elektrodami,
- olověné bezúdržbové VRLA akumulátory.

Olověné akumulátory se zaplavenými elektrodami v elektrolytu (koncentrovaná kyselina sírová) patří mezi klasické údržbové akumulátory, při kterých dochází k rozkladu vody na kyslík a vodík. Důležité je kontrolovat hladinu elektrolytu a dolévat destilovanou vodu. Reálná životnost tohoto typu

pro kapacitu 100 A·h je 8 let a využitelná kapacita je 80 %. Umístění musí být v dobře větraném prostředí. Moderní akumulátory mají menší úbytek vody, a proto se považují za bezúdržbové. [11]

Olověné akumulátor v provedení VRLA (Valve Regulated Lead Acid batteries – ventilem řízené olověné akumulátory) jsou na rozdíl od akumulátorů se zaplavenými elektrodami hermeticky uzavřené a jsou řízené tlakovým ventilem. Další výhodou je větší využitelná kapacita a menší samovybíjení. Jediná nevýhoda je menší nabíjecí proud oproti typu se zaplavenými elektrodami. Pro stejnou kapacitu 100 A·h jako v předchozích případech je reálná životnost (8 let) a využitelná kapacita (80 %) stejná jako u typu se zaplavenými elektrodami, avšak VRLA akumulátory jsou finančně nákladnější. [11]

Rozlišují se dva typy olověných bezúdržbových VRLA akumulátorů:

- gelové akumulátory,
- akumulátory AGM (Absorbed Glass Mat – absorbovaná skleněná podložka).

U gelových akumulátorů je elektrolyt ve formě gelu a u typu AGM je elektrolyt ve formě skelné hmoty. V tomto návrhu bude použit bezúdržbový VRLA akumulátor typu AGM. Tento typ oproti gelovým akumulátorům dokáže i při nízkých teplotách generovat vysoký výkon, je přibližně o 10 % lehčí a je schopný produkovat až o 30 % vyšší výkon. [11]

Kapacita akumulátorů se volí obvykle na dobu 3 – 6 dnů. Důležité je nevybíjet akumulátory do maxima a nenechávat je dlouho vybité, jelikož oba případy snižují jejich životnost. Parametry akumulátorů lze měnit sériovou, paralelní či sérioparalelní kombinací. Při sériovém pospojování, kdy se kladné a záporné póly spojují, dochází ke sčítání jejich napětí a kapacita akumulátorů zůstává stejná. Při paralelním spojení zvlášť kladných a zvlášť záporných pólů zůstává napětí stejné a sčítá se jejich kapacita a také jejich proud. Pro ostrovní FV systémy se volí paralelní kombinace k dosažení většího proudu. Při těchto kombinacích je potřeba používat stejné typy akumulátorů od stejného výrobce, jinak by docházelo ke vzájemnému nabíjení a vybíjení, což snižuje kapacitu. Pro období s nadprůměrnou intenzitou záření se volí kapacita akumulátorů na dobu 3 dnů, kdy tato kapacita musí pokrýt celou vypočítanou spotřebu el. energie včetně ztrát v celém systému po dobu minimálně 3 dnů. Pro období s podprůměrnou intenzitou slunečního záření, tedy v zimním období, se volí kapacita na dobu až 6 dnů. V tomto návrhu se tedy respektuje celoroční provoz a bude se navrhovat kapacita na dobu 6 dnů. [11, 9]

Pro výpočet kapacity akumulátorů je třeba znát zvolené stejnosměrné napětí FV elektrárny, celkovou denní spotřebu el. energie, ztráty v měniči napětí a ztráty v kabelovém vedení. Nerespektují se ztráty při akumulaci ani ztráty v MPPT měniči, jelikož se jedná o el. energii již plně naakumulovanou v akumulátorech. Nejedná se tedy o nabíjení. Dále je třeba určit, na kolik dní je potřeba zajistit zásobu el. energie a určit maximální přípustnou hranici vybíjení, tj. maximální využitelnou kapacitu, která se volí do 80 %. [11, 9]

Výpočet minimální kapacity akumulátorů pro dobu 6 dnů čerpání:

$$Q_a = \frac{E \cdot T}{U_{DC} \cdot T_{max} \cdot \eta_m \cdot \eta_k} \quad (\text{A} \cdot \text{h}) \quad (\text{r. 2.13})$$

kde T je navrhovaná doba čerpání el. energie z akumulátorů (dny)
 U_{DC} zvolené stejnosměrné napětí FV elektrárny (V)

T_{\max} maximální přípustná hranice vybíjení (0,8)

$$Q_a = \frac{6574,042 \cdot 6}{24 \cdot 0,8 \cdot 0,95 \cdot 0,97} = 2229,396 \approx 2230 \text{ A} \cdot \text{h}$$

Výsledná minimální kapacita akumulátorů pro celoroční provoz fotovoltaické elektrárny rodinného domu s denní průměrnou spotřebou 6574,042 W·h činí po zaokrouhlení 2230 A·h.

2.2 Výpočet solární elektrárny

V tomto návrhu budou respektovány tyto části solárního systému:

- solární kolektory,
- oběhové čerpadlo,
- potrubí,
- expanzní nádoba,
- zásobník teplé užitkové vody (dále jen „TUV“).

Solární kolektory budou sloužit pro ohřev TUV pomocí bivalentního zásobníku. Zásobník se skládá ze dvou částí, kde horní výměník slouží jako dohřev TUV plynovým kotlem. Na spodní výměník je připojen solární systém. Při návrhu kolektorů je důležité se vyhnout velkým solárním přebytkům v letním období. Pro návrh solárních kolektorů s celoročním využitím se volí měsíc duben, popř. září. Při volbě nejméně produktivního měsíce prosinec by docházelo k předimenzování solárních soustav, tak jako u FV soustavy. Pro dohřev v období od října do března poslouží již zmíněný plynový kotel. V tomto návrhu bude použit plochý selektivní kolektor. [4]

Vstupní údaje pro návrh solárních kolektorů:

- Počet osob: $P = 4$
- Typ spotřeby: dle Tab. 2.3 byl zvolen střední standard
- Teplota teplé vody: $t_t = 45 \text{ }^{\circ}\text{C}$
- Teplota studené vody: $t_s = 10 \text{ }^{\circ}\text{C}$
- Spotřeba teplé vody: $S = 60 \text{ l} \cdot \text{os}^{-1} \cdot \text{den}^{-1}$

Tab. 2.3 Měrná denní spotřeba teplé vody v obytných budovách [2]

Typ spotřeby	60°C	45°C	Tepelná energie
Nízký standard	10 až 20 l·os ⁻¹ ·den ⁻¹	15 až 30 l·os ⁻¹ ·den ⁻¹	0,6 až 1,2 kW·h·os ⁻¹ ·den ⁻¹
Střední standard	20 až 40 l·os ⁻¹ ·den ⁻¹	30 až 60 l·os ⁻¹ ·den ⁻¹	1,2 až 2,4 kW·h·os ⁻¹ ·den ⁻¹
Vysoký standard	40 až 80 l·os ⁻¹ ·den ⁻¹	60 až 120 l·os ⁻¹ ·den ⁻¹	2,4 až 4,8 kW·h·os ⁻¹ ·den ⁻¹

2.2.1 Střední intenzita slunečního záření

Střední intenzita slunečního záření je dána vztahem z [6]:

$$G_{\text{stř}} = \frac{H_{\text{den,teor}}}{\tau_{\text{teor}}} \quad (\text{W} \cdot \text{m}^{-2}) \quad (\text{r. 2.14})$$

kde $H_{\text{den,teor}}$ je teoretická denní intenzita záření dopadající na plochu 1 m^2 ($\text{W} \cdot \text{h} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{den}^{-1}$)
 τ_{teor} teoretická doba slunečního svitu (h)

Střední intenzitu záření $G_{\text{stř}}$ lze zjistit z tabulky z [6], která pro orientaci 50° severní šířky při azimutovém úhlu 0° na Jih a pro sklon plochy 34° (oblast mezi hodnotami pro 30° a 40°) činí přibližně $570,6 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$.

2.2.2 Skutečná intenzita slunečního záření

Skutečná intenzita slunečního záření je dána rovnicí z [6]:

$$H_{\text{den}} = \tau_r \cdot H_{\text{den,teor}} + (1 - \tau_r) \cdot H_{\text{den,dif}} \quad (\text{kW} \cdot \text{h} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{den}^{-1}) \quad (\text{r. 2.15})$$

kde τ_r je poměrná doba slunečního svitu (h)
 $H_{\text{den,dif}}$ intenzita difúzního záření ($\text{kW} \cdot \text{h} \cdot \text{m}^{-2}$)

Skutečná denní a měsíční intenzita záření navrhovaného rodinného domu se nachází v Tab. 2.2, která je vygenerována z webového portálu z [12]. Nejméně produktivní měsíc v období duben-září je září, jehož průměrná denní intenzita záření H_{den} činí $3990 \text{ W} \cdot \text{h} \cdot \text{m}^{-2}$.

2.2.3 Účinnost solárního kolektoru

Účinnost solárního kolektoru lze vypočítat z [2] podle:

$$\eta_k = \eta_0 - a_1 \cdot \frac{t_m - t_e}{G_{\text{stř}}} - a_2 \cdot \frac{(t_m - t_e)^2}{G_{\text{stř}}} \quad (-) \quad (\text{r. 2.16})$$

kde η_0 je účinnost kolektoru při nulovém teplotním rozdílu mezi kapalinou a okolím (-)
 a_1 lineární součinitel tepelných ztrát kolektoru ($\text{W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}$)
 a_2 kvadratický součinitel tepelných ztrát kolektoru ($\text{W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-2}$)
 t_m teplota kapaliny v kolektoru ($^\circ\text{C}$)
 t_e teplota okolního vzduchu ($^\circ\text{C}$)

Účinnost kolektoru je teplotně závislá na rozdílu teploty kapaliny v kolektoru a teploty okolního prostředí. Součinitele η_0 , a_1 a a_2 vztažené na určitou plochu udává výrobce. Typické hodnoty jsou uvedeny v Tab. 2.4. Průměrná teplota vzduchu v září t_e podle Tab. 2.2 je $15,6^\circ\text{C}$.

Tab. 2.4 Typické hodnoty součinitelů η_0 , a_1 a a_2 podle typu kolektoru [2]

Typ kolektoru	η_0	a_1	a_2
	(-)	($\text{W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}$)	($\text{W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-2}$)
Plochý selektivní	0,78	4,2	0,015
Trubkový vakuovaný jednostěnný	0,75	1,5	0,008
Trubkový vakuovaný jednostěnný	0,65	1,5	0,005

Střední teplota kapaliny v kolektoru t_m se vypočítá podle vztahu z [6]:

$$t_m = \frac{t_1 + t_2}{2} \quad (^\circ\text{C}) \quad (\text{r. 2.17})$$

$$t_m = \frac{10 + 45}{2} = 27,5 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Po dosazení z Tab. 2.4 za součinitele η_0 , a_1 a a_2 plochého selektivního kolektoru platí pro účinnost kolektoru η_k vztah:

$$\eta_k = 0,78 - 4,2 \cdot \frac{27,5 - 15,6}{570,6} - 0,015 \cdot \frac{(27,5 - 15,6)^2}{570,6} = 0,689$$

2.2.4 Objem zásobníku

Objem zásobníku V se vypočítá z [4] pomocí vztahu:

$$V = S \cdot P \cdot r \quad (\text{l}) \quad (\text{r. 2.18})$$

kde r je násobek denní spotřeby TUV pro pokrytí spotřební špičky, obvykle 2 - 2,5 (-)

Pro čtyřčlennou domácnost se spotřebou 240 l TUV denně platí:

$$V = 60 \cdot 4 \cdot 2 = 480 \text{ l} = 0,48 \text{ m}^3$$

2.2.5 Denní spotřeba tepelné energie pro ohřev TUV

Celková denní spotřeba tepelné energie pro ohřev TUV se určí z [6] pomocí vztahu:

$$Q_{\text{spotř}} = \frac{c \cdot \rho \cdot V \cdot (t_2 - t_1)}{3,6 \cdot 10^6} \quad (\text{kW} \cdot \text{h} \cdot \text{den}^{-1}) \quad (\text{r. 2.19})$$

kde c je měrná tepelná kapacita vody ($\text{J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$)

ρ hustota vody ($\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$)

t_2 teplota na výstupu ze zásobníku ($^\circ\text{C}$)

t_1 teplota na vstupu do zásobníku ($^\circ\text{C}$)

$$Q_{\text{spotř}} = \frac{4186 \cdot 1000 \cdot 0,48 \cdot (45 - 10)}{3,6 \cdot 10^6} = 19,535 \text{ kW} \cdot \text{h} \cdot \text{den}^{-1}$$

2.2.6 Absorbční plocha kolektoru

Absorbční plochu kolektoru je dána rovnicí z [6]:

$$S_k = \frac{(1 + p) \cdot Q_{\text{spotř}}}{H_{\text{den}} \cdot \eta_k} \quad (\text{m}^2) \quad (\text{r. 2.20})$$

kde p jsou tepelné ztráty v solárním systému (potrubí, zásobník), které činí obvykle 10 – 15 % (-)

Při uvažování tepelných ztrát 10 % bude velikost plochy kolektoru:

$$S_k = \frac{(1 + 0,1) \cdot 19,535 \cdot 10^3}{3990 \cdot 0,689} = 7,817 \text{ m}^2$$

Pro období duben-září by byla potřeba pro 100% pokrytí spotřeby TUV rodinného domu plocha kolektorů o velikosti 7,817 m². Tento výpočet byl pouze teoretický, jelikož koeficienty solárního panelu a střední intenzita záření se musely odečítat z předepsaných tabulek. Pro konkrétní výpočet je potřeba znát parametry zvoleného kolektoru. K tomuto přesnému návrhu slouží programu Solar verze 2.10 dostupný na webových stránkách společnosti Reflex CZ s.r.o. z [28].

2.2.7 Výpočet solární elektrárny pomocí programu Solar verze 2.10

Do tohoto programu byly zadány tyto vstupní údaje:

- Lokalita: Olomoucký kraj, okres Šumperk
- Orientace kolektorů: -2° Jih
- Sklon kolektorů: 34°
- Typ kolektoru: RSK II 25
- Teplota teplé vody: $t_t = 45 \text{ °C}$
- Teplota studené vody: $t_s = 10 \text{ °C}$
- Počet osob v rodinném domě: 4
- Střední teplota tekutiny v kolektoru: 27,5 °C
- Vypočtená denní spotřeba TUV: 19,535 kW·h·den⁻¹

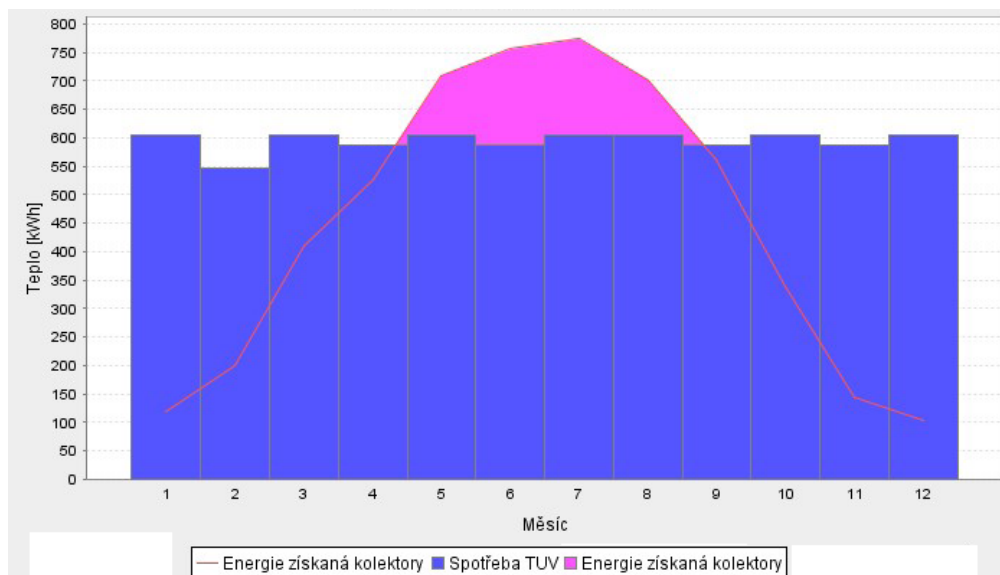
Pro zadaný typ plochého kolektoru RSK II 25 bylo programem Solar verze 2.10 vypočteno:

Tab. 2.5 Vypočítané parametry solárního systému pro ohřev TUV [28]

Plocha kolektorů	8,76	m ²
Počet kolektorů	4	
Celková spotřeba energie	25,7	GJ·rok ⁻¹
Energie získaná kolektory	19,2	GJ·rok ⁻¹
Energetická úspora ohřevem TUV	67,4	%
Průtok kolektorovým polem	219	l·h ⁻¹
Vnitřní průměr potrubí	16,63	mm
Tlaková ztráta kolektorového pole	12	kPa
Expanzní nádoba S50/10	50	l
Solární regulátor TR 0603	230	V
Doporučená velikost zásobníku	438	l
Zvolený zásobník S 500-2	500	l

Tab. 2.6 Podíl výroby kolektorů na celkové spotřebě tepla pro ohřev TUV [28]

Měsíc	Celková spotřeba pro TUV	Výroba kolektorů	Solární pokrytí
	(kW·h)	(kW·h)	(%)
Leden	606	119	19,6
Únor	547	201	36,7
Březen	606	409	67,5
Duben	586	527	90
Květen	606	709	100
Červen	586	756	100
Červenec	606	774	100
Srpen	606	702	100
Září	586	561	95,7
Říjen	606	340	56,1
Listopad	586	145	24,7
Prosinec	606	104	17,1
Celkem za rok	7132	5345	67,4



Obr. 2.2 Průběh energetické bilance [28]

3 Průzkum trhu dostupných technologií solárních a fotovoltaických elektráren

V této kapitole budou rozebrány dostupné firmy na českém trhu, které se zabývají prodejem FV a solárních elektráren pro rodinné domy. Velký podíl na českém trhu se solárními panely mají zahraniční firmy. Mezi hlavní celosvětové producenty patří Sharp, Siemens SolarCanon, Kaneka, BP Solar a Shell Renewables. V České republice se výrobou křemíkových krystalických FV článků zabývá firma Solartec s.r.o. ve spolupráci s firmou Trimex s.r.o. [20]

Za poslední dva roky klesly investiční náklady pro střešní FV systémy zhruba na polovinu. Na konci roku 2010 činila cena za 1 kWp přibližně 80 tisíc Kč. Dnes za 1 kWp činí investice cca 40 tisíc Kč. Ovšem vlivem vzrůstající čínské konkurence, která je levnější, nastal u mnoha firem bankrot. Příkladem bankrotu je německá firma Q-cells, která dříve patřila k největším světovým producentům. Důvodem jsou také vládní škrtky pro podporu FV elektráren. Výkupní ceny elektřiny a zelené bonusy pro FV elektrárnu u nás klesly přibližně na polovinu (viz. Tab. 4.1), proto začali výrobci i distributoři působit také na zahraničním trhu. Při volbě FV panelu jsou rozhodující parametry: špičkový výkon panelu, garance výkonu, účinnost panelu a rozměry. [21]

3.1 Český trh pro fotovoltaické elektrárny

3.1.1 SOLARTEC s.r.o.

Firma Solartec s.r.o. byla založena v roce 1993 a sídlí v Rožnově pod Radhoštěm v průmyslovém areálu Tesla. V tomtéž roce začala firma spolupracovat a přednášet na českých vysokých školách (ČVUT v Praze, VUT v Brně, MU v Brně a ZČU v Plzni). Výroba FV článků začala v roce 1994. Již v roce 1997 nastala první instalace FV systému. Vlivem působení i v zahraničí se v roce 1998 začali dodávat FV systémy i na fasády v Japonsku. První instalační výkon 20 kWp do rozvodné sítě v České republice byl proveden roku 2002. Vlastní technologii BIPV (integrace FV panelů do budov) odstartovala v roce 2004. Firma se zabývá instalací na rodinné domy, školní, veřejné či průmyslové budovy, ale i na volné plochy. [25]

Firma Solartec s.r.o. poskytuje tyto služby:

- výroba a prodej FV panelů
- projekty a realizace FV elektráren (BIPV, zahraniční spolupráce)
- Servis, monitoring a diagnostika FV elektráren
- spolupráce s vědeckými a vzdělávacími centry
- zdokonalování vlastní produkce
- konzultace a technická podpora

Kromě FV panelů poskytuje firma i měniče napětí od firmy Fronius s.r.o., dále solární regulátory, akumulátory od firmy Banner Baterie ČR, s.r.o., konstrukční materiály pro uchycení panelů, konektory, kabely, sady řezů FV článků a nízkonapěťové spotřebiče. V nabídce jsou FV panely monokrystalické i polykrystalické s výkonem od 100 do 230 Wp. [25]

Tab. 3.1 Parametry polykrystalického panelu Solartec s.r.o. PG230P [25]

Mechanické parametry:	
Délka	1639 mm
Šířka	982 mm
Tloušťka	42 mm
Hmotnost	21 kg
Počet solárních článků	60 ks
Účinnost FV panelu	14,40 %
Sklo	temperované sklo 4 mm
Rám	eloxovaný hliník
Kabely, délka 100 cm	2 x 4 mm s konektory TYCO
Propojovací box	IP65
Nominální provoz. teplota článku	47 °C ± 2 °C
Elektrické parametry:	
Maximální výkon P_{\max}	230 Wp ± 3 %
Maximální napětí U_{\max}	29,70 V
Maximální proud I_{\max}	7,75 A
Napětí naprázdno U_o	36,90 V
Proud nakrátko I_k	8,35 A
Maximální systémové napětí	1000 V
Garance výkonu:	12 let max. pokles na 90%
	25 let max. pokles na 80%

3.1.2 GS ENERGY s.r.o.

Tato společnost začala působit na českém trhu v roce 2009 ve spolupráci s čínským výrobcem CEEG. Hlavní sídlo se nachází v Praze. Od roku 2010 je tato společnost výhradním distributorem španělské firmy BP Solar pro český trh a východní Evropu. V roce 2011 se distribuce rozšířila do 17 zemí Evropské unie. Nabídky FV panelů navíc tvořily značky Suntech, Yingli a Canadian Solar. V posledním roce 2012 se stala tato firma také výhradním distributorem výrobce LDK Solar. Tento čínský výrobce byl založen v roce 2005 a je výrobcem polykrystalického křemíku s vysokou čistotou, solárních waferů a FV panelů. Společnost GS Energy s.r.o. je také dodavatelem FV panelů u České spořitelny, UniCredit Bank a Komerční banky. Pro produkty od výrobce LDK Solar platí garance 90% výkonu po dobu 12 let a 80% výkonu po dobu 25 let. Záruční odpovědnost za vadný výrobek je 10 let. U Canadian Solar činí záruka pouhých 5 let. Kromě FV panelů je GS Energy s.r.o. také dodavatelem měničů napětí od firmy Fronius, Kostal, SMA a Power one. [26]

Tab. 3.2 Parametry polykrystalického panelu LDK 230P-20 [26]

Mechanické parametry:	
Délka	1642 mm
Šířka	994 mm
Tloušťka	40 mm
Hmotnost	20 kg
Počet solárních článků	60 ks
Účinnost FV panelu	14,09 %
Sklo	3,2 mm tvrzené sklo
Rám	dvouvrstvý eloxovaný hliník
Kabely, délka 100 cm	MC4 nebo kompatibilní konektory
Propojovací box	IP65
Nominální provoz. teplota článku	45 °C ± 2 °C
Elektrické parametry:	
Maximální výkon P_{\max}	230 Wp ± 3 %
Maximální napětí U_{\max}	29,90 V
Maximální proud I_{\max}	7,68 A
Napětí naprázdno U_o	36,80 V
Proud nakrátko I_k	8,34 A
Maximální systémové napětí	1000 V
Garance výkonu:	12 let max. pokles na 90%
	25 let max. pokles na 80%

3.1.3 IBC SOLAR s.r.o.

Tato společnost byla založena už v roce 1982 se sídlem v Německu a pobočkou v Praze. IBC SOLAR s.r.o. si zakládá na nejvyšší kvalitě a spolehlivosti. Všechny výrobky kontroluje certifikovaným procesem zkoušek. Hlavním zaměřením je instalace FV elektráren na střechy rodinných domů. Další možnosti jsou instalace na průmyslové objekty, volné plochy nebo integrace v budovách. Firma nabízí servisní technické služby týkající se výrobků i plánovaných projektů. Dále firma umožňuje na svých webových stránkách i monitorovat měsíční výrobu FV panelů pro srovnání výnosů v jednotlivých měsících. Pro detailnější kontrolu nabízí firma zpoplatněný software SolPortal, který obsahuje více funkcí. [27]

Pro plánování a kalkulaci FV elektráren slouží software PV Manager, který využívají obchodní partneři IBC SOLAR s.r.o. Důležité je také zmínit, že tato společnost je členem "PV CYCLE Association", což je asociace zabývající se recyklací starých nefunkčních FV panelů od různých výrobců. PV CYCLE vznikl v roce 2007 a má přes 100 členů. IBC SOLAR s.r.o. nabízí i jiné výrobce FV panelů. Mezi nejvýznamnější značky patří japonský výrobce SANYO s FV panely s nadprůměrnou účinností při vysokých teplotách, čínský výrobce Suntech Power, jehož panely vydrží váhu až 540 kg sněhu na 1 m² a čínský výrobce Trina Solar, který vyrábí monokrystalické i polykrystalické moduly. Garance výkonu u těchto všech výrobců je 25 let a záruka výrobku v délce 10

let. Kromě měničů společnosti IBC SOLAR s.r.o. jsou k dispozici i měniče firmy Fronius, SMA Solar Technology a FEG. Montážní systémy zajišťují mimo jiné i firmy DEGERenergie a Renusol. Společnost IBC SOLAR s.r.o. také nabízí odborné semináře v Praze. Na programu je školení v programu PV Manager, cvičení a praktické příklady. [27]

Tab. 3.3 Parametry polykrystalického panelu IBC PolySol 235 MS [27]

Mechanické parametry:	
Délka	1650 mm
Šířka	992 mm
Tloušťka	45 mm
Hmotnost	19 kg
Počet solárních článků	-
Účinnost FV panelu	14,40 %
Sklo	-
Rám	-
Kabely, délka 100 cm	-
Propojovací box	-
Nominální provoz. teplota článku	48 °C
Elektrické parametry:	
Maximální výkon P_{\max}	235 Wp \pm 5 %
Maximální napětí U_{\max}	29,80 V
Maximální proud I_{\max}	7,89 A
Napětí naprázdno U_o	36,90 V
Proud nakrátko I_k	8,47 A
Maximální systémové napětí	1000 V
Garance výkonu:	25 let max. pokles na 80%

3.2 Český trh pro solární elektrárny

3.2.1 Reflex CZ, s.r.o.

Firma Reflex CZ, s.r.o., založená roku 1989, se zabývá výrobou kompresorových a čerpadlových expanzních nádob pro udržování tlaku s automatickým odplyňováním a doplňováním. Dále se firma zabývá výrobky pro celý solární systém (výměníky tepla, zásobníkové ohřivače, solární regulátory a solární kolektory). Vlivem spolupráce v Německu a dalších zahraničních zemích a vlivem důrazu na kvalitu a dobrému poměru ceny k výkonu výrobků si firma Reflex CZ, s.r.o., vybudovala vysoké postavení na evropském trhu. [28]

Firma reflex mimo svých výrobků nabízí také tyto služby:

- osobní poradenství pro projektanty, montážní firmy, velkoobchody či průmyslové podniky,
- servis včetně montáže či zaškolení obsluhy výrobků,
- odborné semináře,

- výpočetní programy pro návrh expanzní nádoby, výměníků tepla či solárního systému,
- systémové řešení při inovaci produktů. [28]

V nabídce solárních kolektorů jsou ploché kolektory RSK II a vakuové trubicové kolektory RVT II. Ploché kolektory RSK II se selektivním povrchem TiNOx mají kolektorový rám proveden technologií ohýbání hliníkového profilu bez svarů, což zvyšuje pevnost a snižuje možnost vniku vody do kolektoru. Proti povětrnostním podmínkám je kolektorový rám zajištěn práškovým lakováním. Výhoda je konstrukce trubek absorberu. Trubky jsou umístěné blíže a jsou zploštělé, čímž se získají větší tepelné zisky. Absorbér a trubky jsou z měděného materiálu. [28]

Tab. 3.4 Parametry plochého solárního kolektoru RSK II od firmy Reflex CZ, s.r.o. [28]

Technické parametry:	
Délka x šířka x tloušťka	2240 mm x 1060 mm x 86 mm
Hmotnost	43 kg
Celková plocha	2,51 m ²
Absorbční plocha	2,19 m ²
Materiál rámu	Hliník (bez svaru)
Tepelná izolace (tloušťka)	minerální vata (40 mm)
Materiál absorberu	Měděný plech
Tloušťka absorberu	0,2 mm
Absorbce	95%
Emisivita	5%
Objem teplonosné kapaliny	1,7 l
Teplonosná kapalina	Propylenglykol + voda
Optická účinnost η_0	0,78
Koeficient tep. Ztrát α_1	2,097 W·m ⁻² ·K ⁻¹
Koeficient tep. Ztrát α_2	0,014 W·m ⁻² ·K ⁻²
Druh krycího skla	Solární tvrzené sklo
Tloušťka skla	4 mm
Doporučený průtok	25 l·h ⁻¹
Stagnační teplota	200 °C
Cena za 1ks	12 990 Kč

3.2.2 PROPULS SOLAR s.r.o.

PROPULS s.r.o. je ryze česká firma založená v roce 1993 v Pardubicích. Na počátku se firma věnovala výpočetní technice a software. V roce 2004 začal vývoj v oblasti solárních systémů. Tato firma začala vyrábět ploché solární kolektory s označením SUNTIME, které uvedla na trh v roce 2007. V roce 2008 vznikla firma PROPULS SOLAR s.r.o., která převzala majetek původní společnosti a roku 2009 získala certifikát Solar Keymark. Tato certifikace testuje kvality solárních kolektorů podle normy EN 12975. Od roku 2010 jsou solární kolektory SUNTIME k dispozici i na slovenském trhu a v následujícím roce 2011 byly tyto kolektory dováženy do více než 30 zemí. Na

svých webových stránkách poskytuje firma výpočetní program Suntiware verze 10.2, kterým lze stanovit optimální velikost plochy kolektorů, pořizovací náklady, návratnost investic a podmínky pro udělení státní dotace z programu „Zelená úsporám“. [29]

Přehled činnosti této firmy:

- projektování solárních systémů pro rodinné i bytové domy
- ekonomická analýza návratnosti solárních systémů
- servisní operace (kontrola kolektorů, zásobníků TUV, výměna nefunkčních kolektorů apod.)
- výroba a distribuce kolektorů SUNTIME
- distribuce tepelných čerpadel vzduch/voda od korejské společnosti LG

Kolektory SUNTIME jsou určeny pro celoroční provoz na ohřev TUV, bazénu či na přitápění. Parametry kolektoru SUNTIME 2.1 jsou v Tab. 3.5. Výhody kolektoru SUNTIME jsou: záruka 5 let, minimální životnost 30 let, hospodárnější k životnímu prostředí, minimum zákroků do střešní konstrukce, vysoká účinnost a nízké tepelné ztráty. Konstrukce kolektoru navíc zabraňuje svým tvarem usazování sněhu. [29]

Tab. 3.5 Parametry plochého kolektoru SUNTIME 2.1 od firmy PROPULS SOLAR s.r.o. [29]

Technické parametry:	
Délka x šířka	1895 mm x 1063 mm
Hmotnost	38 kg
Celková plocha	1,84 m ²
Absorbční plocha	1,83 m ²
Materiál rámu	eloxovaný hliník
Tepelná izolace	minerální vata (30 mm)
Materiál absorbéru	Měď
Absorbce	95% ± 2%
Emisivita	4 % ± 2 %
Objem teplonosné kapaliny	1,1 l
Optická účinnost η_0	0,781
Koeficient tep. Ztrát α_1	2,495 W·m ⁻² ·K ⁻¹
Koeficient tep. Ztrát α_2	0,028 W·m ⁻² ·K ⁻²
Druh krycího skla	Solární bezpečnostní sklo
Tloušťka skla	4 mm
Doporučený průtok	40 – 120 l/h
Stagnační teplota	203 °C
Cena za 1ks	11 490 Kč

3.2.3 REGULUS s.r.o.

Jedná se o společnost založenou v roce 1992, která sídlí v Praze. Regulus s.r.o. působí také na Slovensku, kde roku 1997 založila společnost Regulus-Technik s.r.o. Počet zákazníků rostl jak v zemích evropských (např. Španělsko, Itálie, Francie, Německo), tak i v mimoevropských (např. Rusko, USA). Firma Regulus s.r.o. je držitelem certifikátu, který je dokladem, že společnost udržuje management kvality splňující požadavky ČSN EN ISO 9001:2009. Firma se zabývá návrhem tepelných čerpadel, solárních systémů a větrání s rekuperací. [30]

Solární systémy pro ohřev TUV aplikuje firma pro bytové i rodinné domy spolu s tepelnými čerpadly v kombinaci se systémy větrání s rekuperací. Firma instalovala solární systémy a tepelná čerpadla například do aquaparku v Ostravě. Firma pořádá školení, výstavy či semináře o využití obnovitelných zdrojů energie. Vyrábí solární kolektory ploché i trubicové. Na webových stránkách je k dispozici online monitoring. Jedná se o monitorování energetické bilance rodinného domu se solární elektrárnou na přitápění. Tento systém umožňuje informace o aktuálních datech o spotřebě tohoto domu, výkonu kolektorů, teplotách systému apod. Dále je tu monitorování i průmyslové haly ETA Hlinsko s instalovaným solárním systémem. Firma dále nabízí na svých webových stránkách bezplatný návrh systému. Stačí pouze vyplnit dotazník pro sestavení kalkulace. Parametry a specifikace vybraného plochého kolektoru KPG1 jsou v Tab. 3.6. Instalace tohoto kolektoru je možná jak na výšku, tak i na šířku. [30]

Tab. 3.6 Parametry plochého solárního kolektoru KPG [30]

Technické parametry:	
Délka x šířka x tloušťka	2151 mm x 1170 mm x 84 mm
Hmotnost	47 kg
Celková plocha	2,517 m ²
Absorbční plocha	2,309 m ²
Materiál rámu	Hliníková slitina
Tepelná izolace	minerální vata (40 mm)
Materiál absorbéru	Hliník
Tloušťka absorbéru	0,5 mm
Absorbce	94 ± 2%
Emisivita	5 ± 2%
Objem teplonosné kapaliny	1,7 l
Teplonosná kapalina	monopropylenglykol + voda
Optická účinnost η_0	0,794
Koeficient tep. Ztrát α_1	3,639 W·m ⁻² ·K ⁻¹
Koeficient tep. Ztrát α_2	0,0168 W·m ⁻² ·K ⁻²
Druh krycího skla	kalené nízkoželezité sklo
Tloušťka skla	3,2 mm
Doporučený průtok	60 – 120 l/h
Stagnační teplota	234 °C
Cena za 1ks	12 900 Kč

4 Ekonomické zhodnocení a legislativní rámec pro stavbu fotovoltaické elektrárny

Mezi hlavní zákony a předpisy zajišťující instalaci a podporu obnovitelných zdrojů energie v ČR patří:

- zákon č. 180/2005 Sb., o podpoře využívání obnovitelných zdrojů,
- zákon č. 458/2000 Sb., energetický zákon,
- cenové rozhodnutí Energetického regulačního úřadu č. 7/2011.

4.1.1 Zákon č. 180/2005 Sb., o podpoře využívání obnovitelných zdrojů

Jedná se o zákon ze dne 31. března 2005 o podpoře výroby elektřiny z obnovitelných zdrojů energie a o změně některých zákonů (zákon o podpoře využívání obnovitelných zdrojů). Zákon upravuje podle práva Evropských společenství způsob podpory výroby elektřiny z obnovitelných zdrojů energie a výkon státní správy a práva a povinnosti fyzických a právnických osob s tím spojené. Cílem je ochrana životního prostředí a klimatu, podpořit využití obnovitelných zdrojů energie, zvýšit jejich podíl na spotřebě primárních energetických zdrojů apod. Podpora výroby elektřiny těchto zdrojů je stanovena odlišně. Rozlišuje se druh obnovitelného zdroje a velikost instalovaného výkonu výroby. Podle § 5 odst. 4 vzniká výrobcí nárok na úhradu zeleného bonusu předáním provozovateli distribuční nebo přenosové sítě údaje o množství elektřiny z obnovitelných zdrojů. Stejný nárok má i výrobce, který vyrábí elektřinu z obnovitelných zdrojů pro vlastní potřebu a který je povinen předávat naměřené nebo vypočítané údaje o množství jím vyrobené elektřiny. Více o tomto zákonu na [14].

4.1.2 Zákon č. 458/2000 Sb., energetický zákon

Tento zákon pojednává o podmínkách a o výkonu státní správy v energetických odvětvích a o změně některých zákonů (energetický zákon). Zpracovává příslušné předpisy Evropských společenství, upravuje podmínky podnikání, výkon státní správy a regulaci v energetických odvětvích, kterými jsou elektroenergetika, plynárenství a teplárenství, jakož i práva a povinnosti fyzických a právnických osob s tím spojené. Licence se uděluje nejvýše na 25 let, a to na výrobu, přenos a distribuci elektřiny či plynu, uskladňování plynu a výrobu a rozvod tepelné energie. Mezi podmínky udělení licence pro fyzickou osobu patří dosažení věku 18 let, úplná způsobilost k právním úkonům, bezúhonnost, odborná způsobilost nebo ustanovení odpovědného zástupce podle § 6. Licence se uděluje na základně písemné žádosti. Požádá-li držitel licence o zrušení licence, je povinen pokračovat ve výkonu licencované činnosti po dobu stanovenou Energetickým regulačním úřadem, nejvýše však po dobu 12 měsíců ode dne zrušení, je-li schopen plnit své závazky. Více o tomto zákonu na [15].

4.1.3 Cenové rozhodnutí Energetického regulačního úřadu č. 7/2011

Toto cenové rozhodnutí ze dne 23. listopadu 2011 stanovuje podporu pro výrobu elektřiny z obnovitelných zdrojů energie, kombinované výroby elektřiny a tepla a druhotných energetických zdrojů. Česká republika zavedla systém tzv. feed-in tariff (tzn. systém výkupních cen) a systém „zelených bonusů“ (viz. Tab. 4.1). [13]

Principem výkupních cen je vykoupení veškeré vyrobené energie z FV systémů, které jsou dle zákona č. 180/2005 Sb. povinni pro provozovatele přenosové nebo distribuční soustavy být připojeni

do přenosové soustavy pro uplatnění této podpory. Výkupní cena je definována pro daný rok a je garantována na 20 následujících let. Tato výkupní cena je navíc každoročně navýšena o index PPI, který činí 2 – 4 %. Jedná se o index cen průmyslových výrobců. [19]

Princip zelených bonusů je takový, že většinu vyrobené energie spotřebovává výrobce sám. Přebytek vyrobené energie je prodáván distributorovi. Zelený bonus neboli prémie představuje finanční částku, která zvyšuje tržní cenu elektrické energie. Výrobce prodá tuto vyrobenou energii obchodníkovi za tržní cenu. Obchodník s elektřinou (neboli dodavatel) nakupuje elektrickou energii za účelem dalšího prodeje. Obchodníka s elektřinou si můžeme vybrat, avšak například distributor je nám přidělen dle územního regionu. Distribuci energie v Praze zajišťuje Pražská energetika, a.s. Na severní Moravě a v severních, východních, západních a středních Čechách působí společnost ČEZ, a.s. V jižních Čechách a Moravě pak E.ON Energie, a.s. Obchodníků s elektřinou je mnoho, avšak mezi nejvýznamnější obchodníky patří právě tyto 3 společnosti. V okamžiku prodeje elektřiny získá výrobce zelený bonus od distributora, jehož velikost určuje Energetický regulační úřad. Tato velikost je stanovena tak, aby byla o něco vyšší, než za tutéž prodanou energii v systému výkupních cen. [19]

Tab. 4.1 Výkupní ceny a zelené bonusy pro výrobu elektřiny využitím slunečního záření [13]

Výroba elektřiny využitím slunečního záření - Datum uvedení do provozu	Výkupní ceny elektřiny dodané do sítě v Kč/MWh	Zelené bonusy v Kč/MWh
Pro zdroj s instalovaným výkonem do 30 kW včetně a uvedený do provozu od 1.1.2012 do 31.12.2012	6160	5080
Pro zdroj s instalovaným výkonem do 30 kW včetně a uvedený do provozu od 1.1.2011 do 31.12.2011	7650	6570
Pro zdroj s instalovaným výkonem nad 30 kW do 100 kW včetně a uvedený do provozu od 1.1.2011 do 31.12.2011	6020	4940
Pro zdroj s instalovaným výkonem nad 100 kW včetně a uvedený do provozu od 1.1.2011 do 31.12.2011	5610	4530
Pro zdroj s instalovaným výkonem do 30 kW včetně a uvedený do provozu od 1.1.2010 do 31.12.2010	12750	11670
Pro zdroj s instalovaným výkonem nad 30 kW včetně a uvedený do provozu od 1.1.2010 do 31.12.2010	12650	11570

Pro rok 2012 mají nárok na podporu pouze FV elektrárny s instalovaným výkonem do 30 kW a zároveň pokud tyto elektrárny budou umístěny na střeších nebo fasádách budov, které jsou zapsané v katastru nemovitostí. Důležitý je také zákon č. 586/1992 Sb. o daních z příjmu, který říká, že pro zisky provozovatelů obnovitelných zdrojů energie platí daňová úleva, a to v roce uvedení do provozu a po dobu pěti následujících let. [19]

Dle cenového rozhodnutí č. 7/2011 platí tyto podmínky pro výkupní ceny a zelené bonusy:

- výkupní ceny jsou stanoveny jako minimální ceny podle právního předpisu,
- zelené bonusy jsou stanoveny jako pevné ceny podle právního předpisu,

- nelze kombinovat systém výkupních cen se systémem zelených bonusů,
- výkupní ceny lze užít za naměřenou a dodanou elektrickou energii v místě předání provozovateli distribuční nebo přenosové soustavy,
- zelené bonusy lze užít za naměřenou a dodanou elektrickou energii v místě předání provozovateli regionální distribuční nebo přenosové soustavy, která je dodaná výrobcem obchodníkovi s elektřinou nebo zákazníkovi. [13]

4.2 Výpočet doby návratnosti

Zvoleným typem solárního kolektoru pro navrhovaný rodinný dům je plochý kolektor RSK II 25 od firmy Reflex CZ, s.r.o. Pro zajištění pokrytí 100% spotřeby TUV v období duben-září je potřeba 4 kusů těchto kolektorů. Zvoleným typem FV panelu je monokrystalický panel SUNOVE od firmy Solartec s.r.o. s výkonem 230 Wp. Při navrhovaném výkonu systému 4754,756 Wp by byla potřeba 21 kusů těchto panelů.

Důležitou informací je, že od 1.1.2011 končí podpora FV systémů v ostrovním režimu. Pro výstavbu solárního systému umožňuje dotace program „Zelená úsporám“. Tento program je administrovaný státním fondem životního prostředí. Výše podpory pro instalaci solárního systému na ohřev TUV pro rodinný dům může činit až 55 000 Kč. V této kategorii program umožňuje také podporu zpracování projektu a kontrolu správné činnosti ve výši 5 000 Kč. Pokud by se jednalo o solární systémy pro ohřev TUV a přitápění, byla by výše dotace pro instalaci 80 000 Kč. Kromě podpory na projekt umožňuje program Zelená úsporám také podporu na výpočet měrné spotřeby tepla, a to 10 000 Kč. [31]

Pro získání dotací je potřeba splnit dvě podmínky. První podmínka je roční zisk kolektorů vztažený na 1 m², který by měl být minimálně 350 kW·h·m⁻² (systém pro ohřev TUV) a 280 kW·h·m⁻² (systém pro ohřev TUV a přitápění). Druhou podmínkou je minimální celkový roční zisk, který musí činit 1100 kW·h (systém pro ohřev TUV) a celkový zisk 1430 kW·h (systém pro ohřev TUV a přitápění). Navrhovaný solární systém splňuje obě podmínky. Roční zisk kolektorů činí 610,2 kW·h·m⁻² a celkový zisk 5345,4 kW·h. [31]

4.2.1 Investiční náklady pro FV systém

Tab. 4.2 Orientační investiční náklady pro FV systém

	Množství	Cena	Cena celkem
	(-)	(Kč)	(Kč)
Monokrystalický panel SUNOVE, 230 Wp	21	10 560	221 760
Měnič napětí - ostrovní SP 5000, 24 V	1	27 000	27 000
Regulátor - MPPT měnič 100/30	1	6 870	6 870
Kabel. vedení, 4 mm ² s konektory TYCO	50 m	55	2 750
VRLA akumulátor typu AGM, 230 A·h	10	5 720	57 200
Elektrocentrála - benzín, 5,5 kW	1	23 490	23 490
Cena celkem včetně DPH			339 070 Kč

Při výpočtu návratnosti investic je potřeba uvažovat i s degradací výkonu panelu, která činí ročně přibližně 1 %, což je ve výpočtu vyjádřeno konstantou 0,887. Dobu návratnosti investic t_{nfv} pro FV systém lze pak vypočítat následujícím vztahem:

$$t_{\text{nfv}} = \frac{N_{\text{ifv}}}{E_{\text{fv}} \cdot k_{\text{ie}} \cdot 0,887} \quad (\text{rok}) \quad (\text{r. 4.1})$$

kde N_{ifv} je konečná hodnota investic FV systému (Kč)
 E_{fv} vyrobená energie FV panelu o výkonu 4754,756 Wp za rok ($\text{kW} \cdot \text{h} \cdot \text{rok}^{-1}$)
 k_{ie} cena za silovou elektřinu ($\text{Kč} \cdot \text{kW}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$)

$$t_{\text{nfv}} = \frac{339070}{4330 \cdot 4,75 \cdot 0,887} = 18,586 \approx 19 \text{ let}$$

Doba návratnosti investic do celého FV systému včetně elektrocentrály je skoro 19 let. Vhodnější volbou by bylo zvolit síťový provoz a využít systém výkupních cen či zelených bonusů, což by vedlo k výhodě prodeje přebytků vyrobené el. energie v letním období do sítě. Ovšem cena prodané přebytečné el. energie je mnohem nižší než cena zmíněných systémů. Navíc v roce 2012 klesly prodejní ceny těchto systémů na polovinu oproti roku 2010. Návrh FV elektrárny je v autonomním provozu, a proto zde není uvažováno o volbě prodeje el. energie.

4.2.2 Investiční náklady pro solární systém

Tab. 4.3 Orientační investiční náklady pro solární systém

	Množství	Cena	Cena celkem
	(-)	(Kč)	(Kč)
Plochý solární kolektor RSK II 25	4	12 990	51 960
Montážní konstrukce (hliník-nerez) pro 1 kolektor	1	2 300	2 300
Montážní konstrukce (hliník-nerez) pro 2 kolektory	1	4 150	4 150
Montážní rozšiřující konstrukce (hliník-nerez) pro 1 kolektor	1	1 850	1 850
Expanzní nádoba Reflex S 50/10, 50 l	1	6 395	6 395
Solární regulátor PT 1000, 6 vstupů / 3 výstupy	1	8 800	8 800
Solární hnací dvoutrubková sada Regulos R 130	1	7 500	7 500
Nemrznoucí směs, kanystr 10 l, koncentrát na 22 l	2	1 380	2 760
Bivalentní stojatý zásobník S 500/2 b, 500 l	1	34 990	34 990
Měděné trubky Cu 18	30 m	80 Kč·m ⁻²	400
Izolace na trubky Armaflex 10/18	30 m	62 Kč·m ⁻¹	1 860
Spojovací materiál na potrubí	1	1 000	1 000
Cena celkem bez DPH			123 965 Kč
Cena s DPH (20 % od 1.1.2012)			148 758 Kč

Při uvažování dotací programu Zelená úsporám pro ohřev TUV solárním systémem a pro zpracování a kontroly činnosti systému, lze počítat s podporou ve výši 60 000 Kč. Potom konečná hodnota investice je $148\,758\text{ Kč} - 60\,000\text{ Kč} = 88\,758\text{ Kč}$. Roční výroba kolektorů činí $5345\text{ kW}\cdot\text{h}\cdot\text{rok}^{-1}$. Cena zemního plynu pro rok 2012 pro vytápění od společnosti ČEZ, a.s. pro Severomoravský kraj do $15000\text{ kW}\cdot\text{h}$ činí $1,4794\text{ Kč}\cdot\text{kW}^{-1}\cdot\text{h}^{-1}$ včetně DPH.

Nyní lze vypočítat dobu návratnosti investic t_{nko} pro solární systém:

$$t_{\text{nko}} = \frac{N_{\text{iko}}}{E_{\text{ko}} \cdot k_{\text{ip}}} \quad (\text{rok}) \quad (\text{r. 4.2})$$

kde N_{iko} je konečná hodnota investic solárního systému včetně dotací (Kč)
 E_{ko} roční množství vyrobené energie kolektorů ($\text{kW}\cdot\text{h}\cdot\text{rok}^{-1}$)
 k_{ip} cena zemního plynu pro vytápění ($\text{Kč}\cdot\text{kW}^{-1}\cdot\text{h}^{-1}$)

$$t_{\text{nko}} = \frac{88758}{5345 \cdot 1,4794} = 11,225 \approx 11 \text{ let}$$

Výpočet doby návratnosti investic t_{nko}' bez dotací pro solární systém:

$$t_{\text{nko}}' = \frac{N_{\text{iko}}'}{E_{\text{ko}} \cdot k_{\text{ip}}} \quad (\text{rok}) \quad (\text{r. 4.3})$$

kde N_{iko}' je konečná hodnota investic solárního systému bez dotací (Kč)

$$t_{\text{nko}}' = \frac{148758}{5345 \cdot 1,4794} = 18,813 \approx 19 \text{ let}$$

Doba návratnosti investic tohoto systému byla vypočítána jak pro využití dotací, tak i bez dotací. Důvodem je dočasné zastavení podpory Zelená úsporám. S dotacemi činí návratnost cca 11 let. Bez dotací je to až 19 let.

5 Závěr

Tato bakalářská práce popisuje princip přeměny sluneční energie na el. energii, popř. tepelnou energii, včetně všech faktorů, které snižují účinnost této přeměny. Cílem této práce je porovnání nabídek českého trhu FV a solárních systémů a jejich aplikace na rodinný dům. Nejvhodnější lokalitou v ČR je jižní Morava, kde dopadá nejvíce slunečního ozáření. Pro celoroční provoz je optimální sklon pro instalaci FV panelů na našem území 35° a pro instalaci solárních kolektorů je optimální sklon 50° , a to s orientací v obou případech na jih. V České republice dosahuje roční intenzita slunečního záření hodnoty až $1250 \text{ kW}\cdot\text{h}\cdot\text{m}^{-2}$ a roční doba slunečního svitu až 1700 hodin.

Uvažovanou lokalitou pro návrh FV a solární elektrárny je rodinný dům se čtyřčlennou domácností na severní Moravě v obci Palonín. Jedná se o novostavbu se sedlovou střechou, která má sklon 34° a orientaci na jih, což jsou ideální podmínky pro FV panely a solární kolektory. Cílem je aplikace obnovitelných zdrojů energie využívající sluneční energii s minimálními nároky na obsluhu a také osamostatnit tento dům od dodávky el. energie ze sítě z důvodu nekontrolovatelného růstu ceny za silovou elektřinu v ČR. Při návrhu ostrovního systému je potřeba uvažovat s velkou úsporou energie. V tomto návrhu budou osvětlení tvořit LED žárovky, které vynikají minimální spotřebou a dlouhou životností. Návrh osvětlení pro uvažovaný rodinný dům je v příloze č. 1. Celková denní spotřeba činí $6574,042 \text{ W}\cdot\text{h}$. Spotřebovaná el. energie je napájena z jedné poloviny z měniče napětí a z druhé poloviny z akumulátoru. Spotřeba elektrické energie včetně ztrát činí $7904,782 \text{ W}\cdot\text{h}$. Z ekonomického hlediska v období listopad-únor vygenerují 80 % z celkové spotřeby FV panely a zbylých 20 % elektrocentrála. Při 100% pokrytí spotřeby FV panely by docházelo k jejich předimenzování v letním období, kdy je produkce až 4krát větší. Navrhovaný výkon FV panelů je $4754,756 \text{ Wp}$. Jelikož se jedná o celoroční grid-off systém, byla navržena kapacita akumulátorů $2230 \text{ A}\cdot\text{h}$ na dobu čerpání energie 6 dnů. Vytápění zajišťuje kotel na tuhá paliva. Solární kolektory budou sloužit pro ohřev TUV. V období duben-září budou pokrývat 100% spotřebu vody. Pro dohřev v období říjen-březen poslouží plynový kotel. Pro tuto domácnost se spotřebou $60 \text{ l}\cdot\text{os}^{-1}\cdot\text{den}^{-1}$ a při uvažovaném plochém kolektoru RSK II 25 by byla potřeba plocha kolektoru $8,76 \text{ m}^2$, tedy přesněji 4 kusy plochém kolektoru RSK II 25. Přebytek energie vyrobené z FV a solárních systémů v letním období je možné využít na ohřev vody v bazénu.

Při průzkumu trhu byly zjištěny parametry jednotlivých produktů českých firem, které se zabývají distribucí FV panelů a solárních kolektorů. V porovnání FV panelů jednotlivých firem nejsou uvedeny jejich ceny, jelikož tyto ceny nejsou stálé a prodejci je zveřejňují až při realizaci poptávky, proto byl vybrán monokrystalický panel SUNOVE s výkonem 230 Wp s garancí výkonu 25 let od firmy Solartec s.r.o., u kterého cena stanovena byla.

Investiční náklady FV systému jsou $339\,070 \text{ Kč}$ včetně DPH. Ostrovní systémy jsou bez dotací, proto doba návratnosti investic do celého FV systému včetně elektrocentrály je skoro 19 let. Investiční náklady solárního systému od firmy Reflex CZ, s.r.o., činí $148\,758 \text{ Kč}$ včetně DPH. S dotacemi činí návratnost cca 11 let. Bez dotací je to až 19 let. Z těchto výsledků je patrné, že rozvoj aplikace obnovitelných zdrojů na výrobu tepelné či elektrické energie je závislý hlavně na státní podpoře. ČR se zaručila Evropské komisi, že do roku 2020 bude činit její podíl obnovitelných zdrojů energie 13 % na celkové spotřebě. Bez státní podpory FV a solárních systémů bude docílení tohoto podílu značně komplikované.

6 Seznam použité literatury

Monografické publikace

- [1] MURTINGER, K., BERANOVSKÝ, J., TOMEŠ, M. *Fotovoltaika. Elektřina ze slunce*. 1. vyd. Brno: ERA, 2007. 81 s. ISBN 978-80-7366-100-7.
- [2] MATUŠKA, T. *Solární soustavy pro bytové domy*. 1. vyd. Praha: Grada, 2010. 136 s. ISBN 978-80-247-3503-0.
- [3] MURTINGER, K., TRUXA, J. *Solární energie pro váš dům*. 2. vyd. Brno: ERA, 2006. 92 s. ISBN 80-7366-076-8.
- [4] THEMESSEL, A., WEISS, W. *Solární systémy. Návrhy a stavba svépomocí*. 1. vyd. Praha: Grada, 2005. 116 s. ISBN 80-247-0589-3.
- [5] MOTLÍK, J. *Obnovitelné zdroje energie a možnosti jejich uplatnění v České republice*. Praha: ČEZ, 2007. 179 s. ISBN 978-80-239-8823-9.
- [6] BROŽ, K., ŠOUREK, B. *Alternativní zdroje energie*. 1. vyd. Praha: Vydavatelství ČVUT, 2003. 213 s. ISBN 80-01-02802-X.
- [7] HENZE, A., HILLEBRAND, W. *Elektrický proud ze slunce*. 1. vyd. Ostrava: HEL, 2000. 136 s. ISBN 80-86167-12-7.
- [8] SOKANSKÝ, K., MIŠÁK, S., ŠNOBL, J., NOVÁK, T. *Studie využitelnosti fotovoltaických článků – rozbor parametrů fotovoltaických článků (elektráren) z hlediska účinnosti výroby elektrické energie*. Materiál MPO. Ostrava: VŠB-TU Ostrava, 2010. 37 s.
- [9] TOŽIČKA, T. *Udržitelné technologie pro rozvoj. Příručka pro implementaci udržitelných technologií v rozvojové spolupráci*. Praha: Adra, 2009. 123 s. ISBN 978-80-254-6105-1.

Elektronické zdroje

- [10] KUSALA, J. *Solární energie* [online]. [cit. 2011-10-25]. Dostupné z: <<http://www.cez.cz/edee/content/microsites/solarni/solar.htm>>
- [11] HNILICA, P. *Solární moduly* [online]. [cit. 2012-4-10]. Dostupné z: <<http://www.solarnimoduly.cz>>
- [12] EC.EUROPA. *Fotovoltaický informační systém PVGIS* [online]. [cit. 2012-4-23]. Dostupné z: <<http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/apps4/pvest.php#>>
- [13] ENERGETICKÝ REGULAČNÍ ÚŘAD. *Cenové rozhodnutí č. 7/2011* [online]. [cit. 2012-2-20]. Dostupné z: <http://eru.cz/user_data/files/ERV/vestnik14_2011.pdf>
- [14] ENERGETICKÝ REGULAČNÍ ÚŘAD. *Zákon 180/2005 Sb. o podpoře využívání obnovitelných zdrojů* [online]. [cit. 2012-2-20]. Dostupné z: <http://eru.cz/user_data/files/legislativa/legislativa_CR/Zakony/ZOZE_1_1_2011_vcetne_402_10.pdf>

- [15] ENERGETICKÝ REGULAČNÍ ÚŘAD. *Energetický zákon 458/2000 Sb.* [online]. [cit. 2012-2-20]. Dostupné z: <http://eru.cz/user_data/files/legislativa/legislativa_CR/Zakony/EZ_UZ.pdf>
- [16] EKOWATT. *Obnovitelné zdroje energie* [online]. [cit. 2011-10-29]. Dostupné z: <<http://www.ekowatt.cz/cz/informace/obnovitelne-zdroje-energie/energie-slunce---slunecni-teplo-ohrev-vody-a-vzduchu.htm>>
- [17] AR SOLAR. *Solární energie* [online]. [cit. 2011-11-5]. Dostupné z: <<http://solarni-ohrev.arsolar.cz/co-vas-zajima/>>
- [18] ISOFEN ENERGY. *Fotovoltaika* [online]. [cit. 2011-12-3]. Dostupné z: <<http://www.isofenenergy.cz/fotovoltaika.aspx>>
- [19] Energotherm Praha, s.r.o. *Fotovoltaika v ČR* [online]. [cit. 2012-1-12]. Dostupné z: <<http://www.energotherm.cz/uvod-do-fotovoltaiky/fotovoltaika-v-r>>
- [20] FYZIKÁLNÍ ÚSTAV AKADEMIE VĚD ČR. *Přeměna sluneční energie v energii elektrickou* [online]. [cit. 2012-4-15]. Dostupné z: <<http://www.fzu.cz/popularizace/premena-slunecni-energie-v-energii-elektrickou>>
- [21] EKONOMIKA.IDNES. Článek ze dne 7. dubna 2012: *Čeští výrobci fotovoltaiky bojují o přežití, ty německé už krize smetla* [online]. [cit. 2012-4-18]. Dostupné z: <http://ekonomika.idnes.cz/cesti-vyrobc-fotovoltaiky-bojuji-o-preziti-f3x-/ekonomika.aspx?c=A120405_125819_ekonomika_neh>
- [22] SOLAR-TRACKERS. *Systémy Traxle* [online]. [cit. 2011-11-15]. Dostupné z: <<http://www.solar-trackers.com/solar-trackers.asp>>
- [23] JANROS. *Katalog typových projektů RD* [online]. [cit. 2012-2-2]. Dostupné z: <http://www.janros.cz/userFiles/katalog_2.pdf>
- [24] HNILICA, P. *Ledkové žárovky* [online]. [cit. 2012-2-2]. Dostupné z: <<http://www.ledkovezarovky.cz/index.html>>
- [25] SOLARTEC s.r.o. [online]. [cit. 2012-4-19]. Dostupné z: <<http://www.solartec.cz/cs/o-nas.html>>
- [26] GS ENERGY s.r.o. [online]. [cit. 2012-4-19]. Dostupné z: <<http://www.gsenergy.eu/cs/o-gs-energy.html>>
- [27] IBC SOLAR s.r.o. [online]. [cit. 2012-4-19]. Dostupné z: <<http://www.ibc-solar.cz/>>
- [28] Reflex CZ s.r.o. [online]. [cit. 2012-4-19]. Dostupné z: <<http://www.reflexcz.cz/>>
- [29] PROPULS SOLAR s.r.o. [online]. [cit. 2012-4-19]. Dostupné z: <<http://www.propuls.cz/index.html>>
- [30] REGULUS s.r.o. [online]. [cit. 2012-4-19]. Dostupné z: <<http://www.regulus.cz/>>
- [31] ZELENÁ ÚSPORÁM. *Výše podpory pro rodinné domy* [online]. [cit. 2012-4-23]. Dostupné z: <<http://www.zelenausporam.cz/sekce/613/vyse-podpory-pro-rodinne-domy/>>

7 Seznam příloh

Příloha na CD č. 1 – Výpočet osvětlení rodinného domu v programu DIALux verze 4.10.